



# 就是要轻松

# 看图学电子元器件

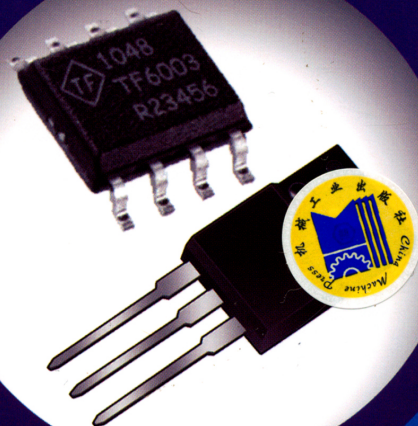


■ 杨清德 主编

图解示例，一看就懂

双色印刷，强调重点

步步引导，就是轻松





# 就是要轻松：看图学 电子元器件

(双色版)

杨清德 主编



机械工业出版社



本书详细介绍了电阻器、电容器、电感器、变压器、二极管、晶体管、晶闸管、场效应晶体管、集成电路、继电器、扬声器、传声器、传感器、晶振和光耦合器等十余种常用电子元器件的作用、种类、型号和特性参数、选用和检测、应用注意事项等知识，是一本集元器件基础理论、训练和参数查询于一体的入门类工具书。

本书注重实用性，通俗易懂，适合于电子技术、电工技术初学者阅读，可作为岗前培训用书，也可供职业院校学生阅读。

## 图书在版编目（CIP）数据

看图学电子元器件/杨清德主编. —北京：机械工业出版社，2015.7

（就是要轻松：双色版）

ISBN 978-7-111-50703-1

I. ①看… II. ①杨… III. ①电子元件—图解②电子器件—图解

IV. ①TN6-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 143979 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：付承桂 责任编辑：付承桂 阎洪庆

责任校对：张 薇 封面设计：路恩中

责任印制：李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12 印张·271 千字

0001—4000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-50703-1

定价：39.90 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com



# 前言 Preface



随着社会的不断发展进步，越来越多的职场人已经意识到，社会对人才的评定标准和企业的用人观念正在发生颠覆性改变，从近年来技工类人才薪资不断攀高的现象就不难看出，“崇尚一技之长、不唯学历凭能力”的社会氛围正在逐步形成。许多人都想要成功，却不知道成功的道路永远只有一条，那就是不断地学习。无论是正在准备求职的你，还是已经找到了工作的你，多挤出些时间看书学习，不断地“充电”，事实证明，这是助你快速提升技术水平及工作能力最有效的途径之一。基于让初学者轻轻松松学电工技术的构想，我们编写了这套丛书，首次与读者见面的有《就是要轻松：看图学电工技术（双色版）》、《就是要轻松：看图学电工识图（双色版）》和《就是要轻松：看图学家装电工技能（双色版）》3本书，第二批与读者见面的有《就是要轻松：看图学万用表使用（双色版）》、《就是要轻松：看图学电子元器件（双色版）》、《就是要轻松：看图学电工布线（双色版）》、《就是要轻松：看图学PLC与变频器（双色版）》和《就是要轻松：看图学电工技能（口诀篇）（双色版）》5本书。

《就是要轻松：看图学电工技术（双色版）》——以初学者学习电工技术掌握的技能为线索，主要介绍常用电工工具的使用、常用电工仪表的使用、常用电工电子技术元器件的应用、电工基本操作技能、常用电气安装、电动机应用技术、PLC及变频器的应用等内容，让读者的综合技能水平得到快速提高。

《就是要轻松：看图学电工识图（双色版）》——以初学者学习电工技术必须掌握的识图技能为线索，主要介绍电工识图及绘图基础知识、电气照明施工识图、工厂供配电电气识图、电动机控制电气图识读、常用机床控制电气图识读，以及小区安防监控电气图识读等内容，让读者看得懂，会应用。

《就是要轻松：看图学家装电工技能（双色版）》——以初学者学习家装电工必须掌握的知识及技能为线索，主要介绍家装电气基础、常用电工工具和仪表、住宅电气规划与设计、家装电气布线施工、配电与照明装置安装、家庭网络系统构建、家庭常用电器的安装等内容，带领读者亲临正规家装公司的施工现场去见习，快速掌握实际操作技能。

《就是要轻松：看图学万用表使用（双色版）》——以初学者如何巧学巧用万用表为线索，主要介绍电子测量技术及常用万用表的基础知识、指针式万用表和数字万用表的一般使用方法、万用表检测常用元器件的方

法及技巧、万用表在实际检修工作中的应用实例，同时，还介绍了万用表常见故障的检修步骤及方法。

《就是要轻松：看图学电子元器件（双色版）》——初学者学习电子技术离不开元器件，该书详细介绍了十余种常用元器件的作用、种类、型号和特性参数、选用和检测、应用注意事项等知识，是一本将元器件基础理论、参数查询、识别、检测与应用等知识完美融合的入门类工具书。

《就是要轻松：看图学电工布线（双色版）》——以国家有关电气布线的相关规定及要求为依据，介绍了电力架空线路、电缆线路、照明线路及其配电器材的安装，同时介绍了建筑弱电系统布线的基本要求及方法。

《就是要轻松：看图学 PLC 与变频器（双色版）》——主要介绍了 PLC 和变频器应用的基础知识、基本使用方法及技巧、日常维护及常见故障排除方法，以及 PLC 与变频器在电气工程中的应用实例等。

IV 《就是要轻松：看图学电工技能（口诀篇）（双色版）》——以通俗易懂的语言，介绍了常用电工工具及仪表的使用、导线连接方法等电工操作基本技能，电气线路与照明的规划、设计与施工，常用高、低压电器的应用，电动机及其控制电路，配电变压器的应用，电工识图的基本步骤及方法等内容。

本书由杨清德主编，另外，陈东、余明飞、冉洪俊、沈文琴、杨松、李建芬、任成明、先力、周万平、胡萍、乐发明、胡世胜、崔永文、赵顺洪也参加了本书的部分编写工作。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。主编的电子邮箱：yqd611@163.com，来信必复。

编 者



# 目录 Contents



## 前言

## 第 1 章 电阻器 ..... 1

- 1.1 认识电阻器 ..... 1
  - 1.1.1 电阻器的功能及分类 ..... 1
  - 1.1.2 电阻器的外形及特征 ..... 2
  - 1.1.3 普通电阻器的参数 ..... 4
  - 1.1.4 普通电阻器的标注 ..... 5
  - 1.1.5 常用电阻器介绍 ..... 8
- 1.2 电阻器的检测及好坏判断 ..... 13
  - 1.2.1 普通电阻器的检测 ..... 13
  - 1.2.2 光敏电阻器的检测 ..... 15
  - 1.2.3 压敏电阻器的检测 ..... 17
  - 1.2.4 热敏电阻器的检测 ..... 17
  - 1.2.5 气敏电阻器的检测 ..... 18
- 1.3 电阻器的应用 ..... 19
  - 1.3.1 普通电阻器的基本应用 ..... 19
  - 1.3.2 电阻器的代换 ..... 20
  - 1.3.3 电阻器的连接 ..... 22

## 第 2 章 电容器 ..... 25

- 2.1 认识电容器 ..... 25
  - 2.1.1 电容器的功能、原理及分类 ..... 25
  - 2.1.2 电容器的参数与标注 ..... 26
  - 2.1.3 电路中常用的几种电容器 ..... 29
- 2.2 电容器的检测及好坏判断 ..... 34
  - 2.2.1 用指针式万用表检测电容器 ..... 34
  - 2.2.2 用数字万用表检测电容器 ..... 36

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 2.3 电容器的应用 .....      | 38 |
| 2.3.1 电容器的连接 .....    | 38 |
| 2.3.2 电容器的选用与代换 ..... | 40 |

## 第 3 章 电感器和变压器 ..... 45

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 3.1 电感器 .....           | 45 |
| 3.1.1 电感器简介 .....       | 45 |
| 3.1.2 电感器的检测与应用 .....   | 53 |
| 3.2 变压器 .....           | 57 |
| 3.2.1 变压器简介 .....       | 57 |
| 3.2.2 变压器的检测及故障处理 ..... | 61 |
| 3.2.3 变压器的代换 .....      | 64 |

## 第 4 章 二极管和晶体管 ..... 65

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 4.1 二极管 .....             | 65 |
| 4.1.1 二极管简介 .....         | 65 |
| 4.1.2 常用二极管及应用 .....      | 71 |
| 4.1.3 二极管的检测 .....        | 75 |
| 4.1.4 二极管整流电路 .....       | 81 |
| 4.2 晶体管 .....             | 82 |
| 4.2.1 晶体管简介 .....         | 82 |
| 4.2.2 晶体管的放大作用及工作状态 ..... | 88 |
| 4.2.3 晶体管的检测及好坏判断 .....   | 90 |
| 4.2.4 晶体管的应用 .....        | 93 |

## 第 5 章 晶闸管和场效应晶体管 ..... 96

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 5.1 晶闸管 .....              | 96  |
| 5.1.1 晶闸管简介 .....          | 96  |
| 5.1.2 晶闸管的特性与主要参数 .....    | 102 |
| 5.1.3 晶闸管的检测 .....         | 105 |
| 5.1.4 晶闸管的应用 .....         | 108 |
| 5.2 场效应晶体管 .....           | 111 |
| 5.2.1 场效应晶体管简介 .....       | 111 |
| 5.2.2 场效应晶体管的检测及好坏判断 ..... | 116 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 5.2.3 场效应晶体管的应用 ..... | 118 |
|-----------------------|-----|

## 第 6 章 集成电路 ..... 120

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 6.1 集成电路简介 .....          | 120 |
| 6.1.1 集成电路的用途及种类 .....    | 120 |
| 6.1.2 集成电路封装形式及引脚排序 ..... | 121 |
| 6.1.3 集成电路的命名及参数 .....    | 125 |
| 6.2 集成稳压器 .....           | 127 |
| 6.2.1 集成稳压器简介 .....       | 127 |
| 6.2.2 三端固定集成稳压器 .....     | 129 |
| 6.2.3 三端可调集成稳压器 .....     | 130 |
| 6.2.4 精密电压基准集成稳压器 .....   | 131 |
| 6.3 语音集成电路和数字集成电路 .....   | 132 |
| 6.3.1 语音集成电路 .....        | 132 |
| 6.3.2 数字集成电路 .....        | 133 |
| 6.4 模拟集成电路 .....          | 134 |
| 6.4.1 模拟集成电路简介 .....      | 134 |
| 6.4.2 模拟集成电路的典型应用 .....   | 135 |
| 6.4.3 集成运算放大器 .....       | 135 |
| 6.4.4 集成电路的检测与好坏判断 .....  | 138 |

## 第 7 章 其他常用元器件 ..... 144

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 7.1 继电器 .....           | 144 |
| 7.1.1 继电器简介 .....       | 144 |
| 7.1.2 常用继电器 .....       | 147 |
| 7.1.3 继电器的检测及好坏判断 ..... | 149 |
| 7.2 扬声器 .....           | 151 |
| 7.2.1 扬声器简介 .....       | 151 |
| 7.2.2 扬声器的检测及好坏判断 ..... | 153 |
| 7.2.3 扬声器的应用 .....      | 154 |
| 7.3 传声器 .....           | 156 |
| 7.3.1 传声器简介 .....       | 156 |
| 7.3.2 电容式传声器 .....      | 158 |
| 7.3.3 动圈式传声器 .....      | 163 |
| 7.4 开关件和接插件 .....       | 166 |



|                   |               |            |
|-------------------|---------------|------------|
| 7.4.1             | 开关件 .....     | 166        |
| 7.4.2             | 接插件 .....     | 168        |
| 7.5               | 传感器 .....     | 170        |
| 7.5.1             | 传感器简介 .....   | 170        |
| 7.5.2             | 常用传感器 .....   | 172        |
| 7.5.3             | 传感器的选用 .....  | 174        |
| 7.6               | 晶振和光耦合器 ..... | 175        |
| 7.6.1             | 晶振 .....      | 175        |
| 7.6.2             | 光耦合器 .....    | 177        |
| <b>参考文献 .....</b> |               | <b>182</b> |

# 第 1 章

## 电 阻 器

### 1.1 认识电阻器

#### 1.1.1 电阻器的功能及分类

##### 1. 电阻器的功能

电阻器是一种在电子电路中应用最多、最常用的电子元件之一，通常简称为电阻。在电路中，电阻器的作用主要是**稳定和调节电路中的电流和电压**，即具有**降压、分压、限流、分流、隔离、过滤（与电容器配合）、匹配和信号幅度调节**等作用。

电阻器在电路中是一种控制电路中电流大小的电子元件，通过控制电流，达到如下目的：为放大电路建立合适的电流工作点；通过分压为放大电路建立合适的电压工作点；作为负载电阻，从放大电路中取得放大信号；与电容器配合，取得延时和定时控制信号；与电容器配合，组成微分或积分电路，对信号进行整形变换；与电容器配合组成电源滤波电路等。

在电路中，**电阻器是耗能元件**，电流通过它就会产生热量。例如，电吹风、电饭锅、电烙铁等电热器具就是利用电阻通电发热的原理制造的。

##### 【重要提醒】

电阻是导体本身的一种特性。电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件。

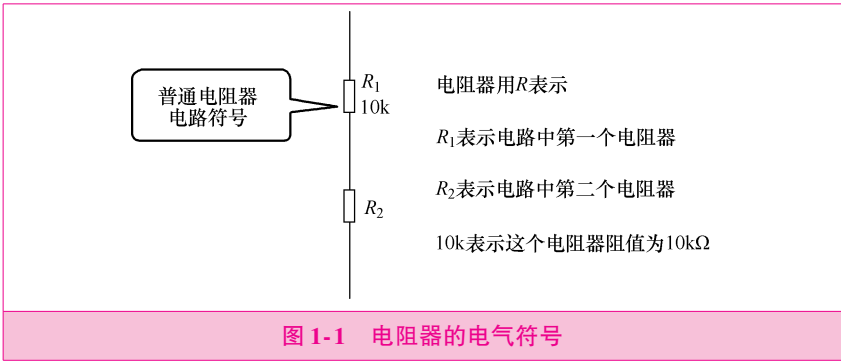
##### 2. 电阻器的分类

电阻器的种类较多，电阻器不同的分类见表 1-1。

表 1-1 电阻器的分类

| 分 类 方 法             | 种 类                                  | 说 明                                                                                             |
|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 根据电阻器的工作特性及在电路中的作用分 | 固定电阻器、可变电阻器                          | 固定电阻器又包括很多种，主要有碳质电阻器、碳膜电阻器、金属电阻器和线绕电阻器等。<br>阻值在一定范围内连续可调的电阻器称为可变电阻器或电位器。可变电阻器一般为两端可调，电位器一般为三端可调 |
| 按电阻器的外观形状分          | 圆柱形电阻器、纽扣电阻器、贴片电阻器                   |                                                                                                 |
| 按制作材料的不同            | 线绕电阻器、膜式电阻器、碳质电阻器                    | 区别碳膜电阻器和金属膜电阻器：从外观上，金属膜电阻器的色环为五环（1%），碳膜电阻器的色环为四环（5%）；金属膜电阻器一般为蓝色，碳膜电阻器一般为土黄色或是其他色               |
| 按用途分                | 精密电阻器、高频电阻器、高压电阻器、大功率电阻器、热敏电阻器、熔断电阻器 |                                                                                                 |
| 按引出线的不同分            | 轴向引线电阻器、无引线电阻器                       | 贴片电阻器为无引线电阻器                                                                                    |
| 按参数标注方式分            | 直标式电阻器、色环电阻器                         | 目前广泛应用的是色环电阻器                                                                                   |

电阻器的种类及外形比较繁杂，我们在电子电路或电路图中描述电阻器时需要统一规定一个符号来表示电阻器，电阻器在电路中的图形和文字符号如图 1-1 所示，文字符号用英文字母“R”表示。



1.1.2 电阻器的外形及特征

1. 常用电阻器的外形

常用的电阻器有普通电阻器和可调电阻器，如图 1-2 所示。图中，普通色环电阻上的

色环用来表示标称阻值大小和阻值的误差。立式可调电阻器共有三个引脚，其中一个为动片引脚，另外两个为定片引脚（两定片引脚不分），它的标称阻值大小直接标注在可变电阻器上，使阻值识别大为方便。带开关的单联电位器有一个操纵柄（转柄），五个引脚，其中两个开关引脚，两个定片引脚，一个动片引脚。

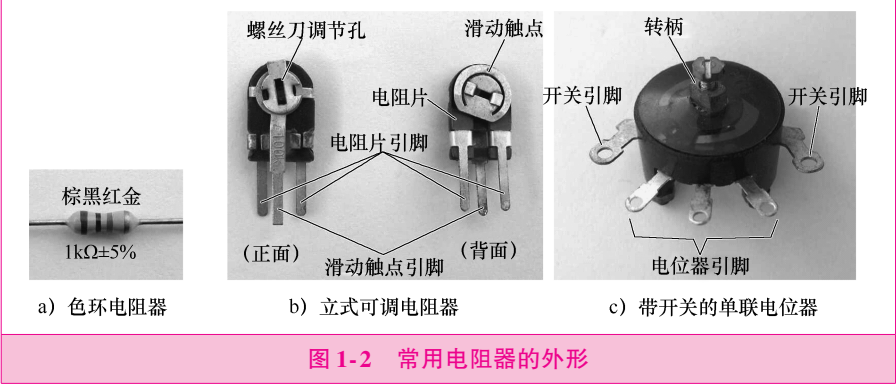


图 1-2 常用电阻器的外形

2. 常用电阻器的基本特征

常用电阻器的基本特征及应用见表 1-2。

表 1-2 常见电阻器的基本特征及应用

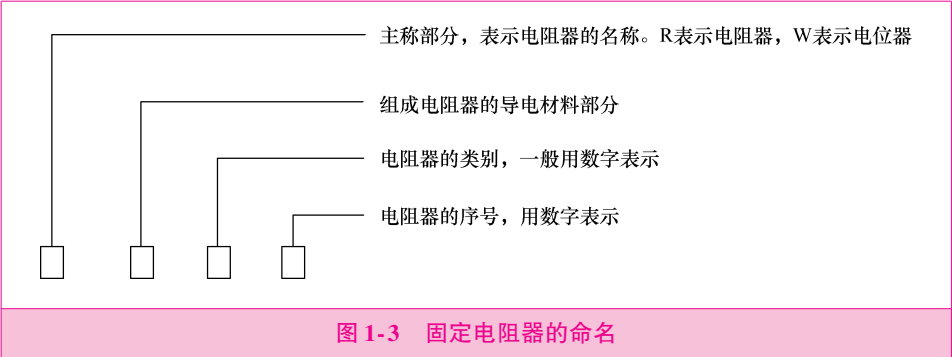
| 电 阻 器 | 基 本 特 征                                   | 图 示 | 应 用 情 况                                                           |
|-------|-------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------|
| 色环电阻器 | 有两个引脚，在电阻体周围印刷有 4 个或 5 个色环带，用来标示电阻器的阻值及误差 |     | 是各种电子电路中最常见的元件，特别适合于用电烙铁手工焊接                                      |
| 贴片电阻器 | 没有引脚，长方体形，体积小，电阻值直接印刷在电阻体上                |     | 可直接安装在印制电路板上而不在板上打孔，特别适合于采用自动化装贴设备来安装。近年来，贴片电阻器是所有电子产品的电路中使用最多的元件 |
| 电阻排   | 又称为电阻网络，将几个相同阻值的电阻器组合在一起形成一排阻值相同的电阻器      |     | 一般用于相同多点输入的电路中，如有若干个开关量的输入，需要对输入信号进行限流、滤波的回路                      |
| 可调电阻器 | 又称为可变电阻器，有三个引脚，阻值大小可以调整                   |     | 用于需要调节电路电流或需要改变电路阻值的场合                                            |



1.1.3 普通电阻器的参数

1. 普通电阻器的命名

国产固定电阻器的命名主要由四个部分组成，如图 1-3 所示。



4

2. 普通电阻器的主要参数

电阻器的主要参数有**标称阻值（简称阻值）**、**额定功率**和**允许偏差**等。

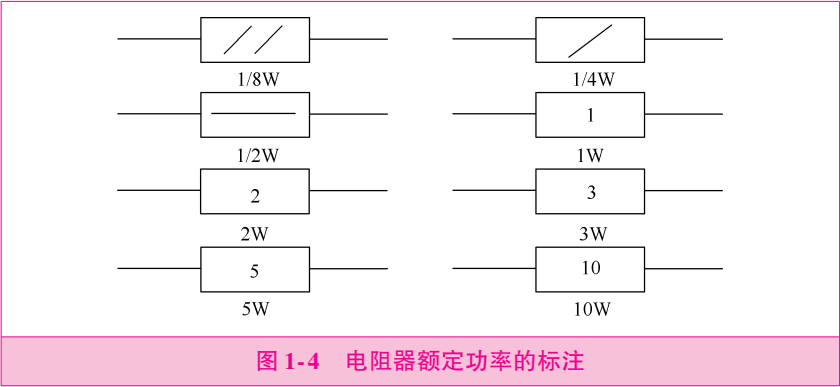
(1) 标称阻值

标称阻值通常是指电阻器上标注的电阻值（标称值严格按照国际或国家标准标注）。电阻值的基本单位是欧姆，用“ $\Omega$ ”表示。在实际应用中，还有千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ）。

$$1M\Omega = 1000k\Omega, 1k\Omega = 1000\Omega$$

(2) 额定功率

电阻器的额定功率是指在一定的环境温度下，电阻器能够长期连续工作而不改变其性能所**允许的最大功率**。功率用  $P$  表示，单位为瓦特（W）。不同类型的电阻器有不同的额定功率，最常用的有  $1/16W$ 、 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、 $1/2W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 、 $5W$ 、 $10W$  等多种规格，如图 1-4 所示。



(3) 允许偏差

电阻器的实际阻值和标称阻值间的差别，常以差值与标称阻值的百分比数来表示，叫作**允许偏差（或阻值误差）**。

表示允许偏差的方法有直标法、罗马数字法、符号法和色标法，见表 1-3。允许偏差值越小，表示电阻器的阻值精度越高。

表 1-3 电阻器允许偏差表示法

| 直 标 法       | 罗马数字法 | 符 号 法 | 色 标 法 |
|-------------|-------|-------|-------|
| $\pm 0.5\%$ |       | D     | 绿     |
| $\pm 1\%$   |       | F     | 棕     |
| $\pm 2\%$   |       | G     | 红     |
| $\pm 5\%$   | I     | J     | 金     |
| $\pm 10\%$  | II    | K     | 银     |
| $\pm 20\%$  | III   | M     | 无色    |

1.1.4 普通电阻器的标注

电阻器的标注方法主要有直标法、数标法和色标法。

1. 直标法

直标法是指将电阻器的类别、标称电阻值、允许偏差、额定功率及其他参数的数值等直接标注在电阻器的表面。也有的用数字加字母符号（Q、Ω、k、M）或两者有规律的组合来表示电阻器的阻值，其中字母符号前面的数字表示阻值的整数部分，字母符号后面的数字表示阻值的小数部分。如“6Ω8”，表示阻值为 6.8Ω；“3k9”，表示阻值为 3.9kΩ，如图 1-5 所示。

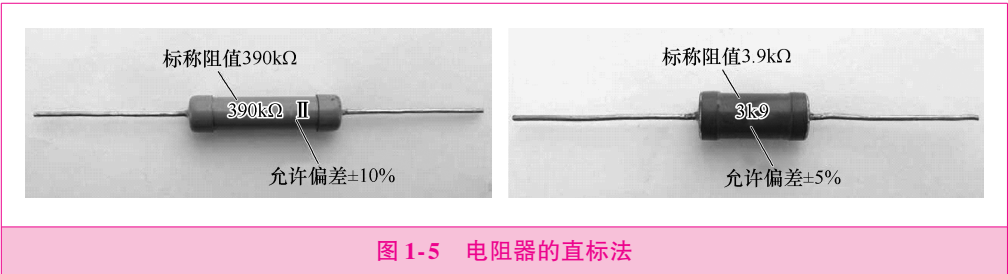


图 1-5 电阻器的直标法

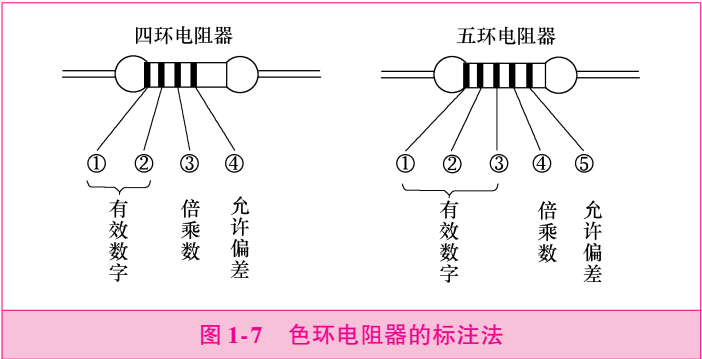
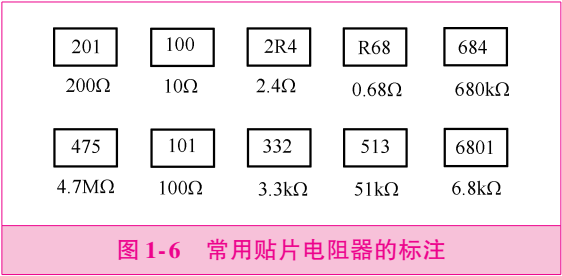
2. 数标法

数标法常见于贴片电阻器，用 3~4 位整数表示阻值，单位为 Ω。如果用三位数表示阻值，则前两位表示有效数字，第三位数字是倍率。如电阻器上标注“ABC”，表示其阻值为  $AB \times 10^C$ ，其中，“C” 如果为 9，则表示 -1。图 1-6 所示为常用贴片电阻器的标注。

另外，可调电阻器在标注阻值时，也常用两位数字表示。第一位表示有效数字，第二位表示倍率。如某电阻器标注为“24”，则表示  $2 \times 10^4 = 20k\Omega$ 。

3. 色标法

用色标法的电阻器，在电阻器上印有四道或五道色环表示阻值，阻值的单位为 Ω。对于四环电阻器，紧靠电阻器端部的第一、二环表示两位有效数字，第三环表示倍乘数，第四环表示允许偏差。对于五环电阻器，第一、二、三环表示三位有效数字，第四环表示倍乘数，第五环表示允许偏差。色环电阻器的标注法如图 1-7 所示。



色标法中每种颜色所对应的数字在国际上是统一的，初学者往往一时记不住，运用不熟练，其实只要记住下面 10 个字的顺序，即“黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白”，它对应着数字“0、1、2、3、4、5、6、7、8、9”，并且代表允许偏差的最后一圈色环多为专门的金色或银色，“熟能生巧”，慢慢地就会运用自如了。图 1-8 所示为色环电阻器的识读示例。



色环记忆口诀

1, 2, 3, 4, 5, 棕红橙黄绿,  
6, 7, 8, 9, 0, 蓝紫灰白黑。  
金5银10表误差, 读准色环就计算。

【重要提醒】

下面介绍识读色环电阻器的几个技巧。

(1) 首位色环的确定

在一般电阻器的色环中，**金、银色环一般表示精度**，即色环中金或银色环通常为末位色环。另外，最靠近引线端的色标是首位色标，依此定出其右边的第二、三、四和第五位色标。

当色环中有与最后一环颜色相同时，可通过色环之间的距离来判断，即第一环与第二环之间的距离要比最后一环与前一环的距离小。

如果色环中没有金或银色环，并且无法准确判断哪个色环最靠近引线端，可以先用万用表试测一下（可以用不同的量程试测），然后根据初测的阻值，确定倍乘数位色环的颜色，继而判断出首位色环的颜色。

(2) 允许偏差色环的确定

最常用的表示电阻器允许偏差的颜色是金、银、棕，尤其是金色环和银色环，一般很少用作电阻器色环的第一环，所以在电阻器上只要有金色环和银色环，就可以基本认定这是电阻器的允许偏差色环，即最末一个色环。

(3) 棕色环是否表示允许偏差的确定

棕色环既常用作允许偏差环，又常作为有效数字环，且常常在第一环和最末一环中同时出现，让人很难识别谁是第一环。可以按照色环之间的间隔加以判别。例如，一个五色环电阻器，第五环和第四环之间的间隔比第一环和第二环之间的间隔要宽一些，据此可判断色环的排列顺序，如图 1-9 所示。

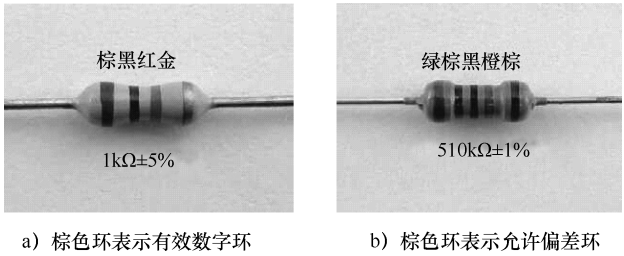
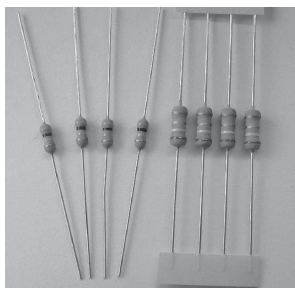


图 1-9 棕色环是否表示允许偏差的确定

### 1.1.5 常用电阻器介绍

#### 1. 碳膜电阻器

碳膜电阻器，顾名思义它是采用高温真空镀膜技术将碳紧密附在瓷棒表面形成碳膜，然后加适当接头切割，并在其表面涂上环氧树脂密封保护而形成的，常见的碳膜电阻器的外形如图 1-10 所示。



我是碳膜电阻器，  
是最受人们喜爱的  
电阻器，这是我  
的常见模样

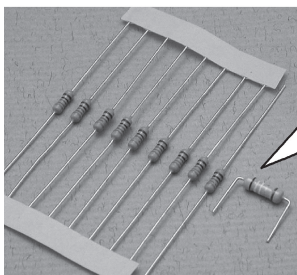
图 1-10 碳膜电阻器

碳膜电阻器成本较低，是目前电子、电器、资讯产品使用量最大的电阻器。但是，其电性能和稳定性较差。

**碳膜电阻器一般为四环电阻器。**

#### 2. 金属膜电阻器

金属膜电阻器是采用高温真空镀膜技术将镍铬或类似的合金紧密附在瓷棒表面形成皮膜，经过切割调试阻值，以达到最终要求的精密阻值，然后加适当接头切割，并在其表面涂上环氧树脂密封保护而形成。常见的金属膜电阻器的外形如图 1-11 所示。



我是金属膜电阻器，  
人们又称我为精密  
电阻器，不要把我  
与碳膜电阻器混淆

图 1-11 金属膜电阻器



从外观上看，常用的电阻器中金属膜的为五色环（精度为1%），碳膜的为四色环（精度为5%）。金属膜的为蓝色，碳膜的为土黄色或是其他的颜色。

金属膜电阻器各方面性能比碳膜电阻器更好，常用于高精度、低温度系数和低噪声的精密应用场合。

### 【重要提醒】

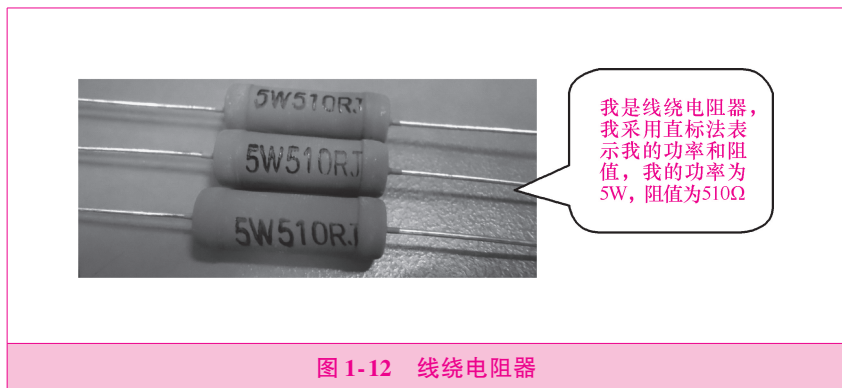
区分碳膜电阻器和金属膜电阻器的方法如下：

1) 用刀片刮开保护漆，露出的膜的颜色为黑色的，为碳膜电阻器；膜的颜色为亮白的，则为金属膜电阻器。

2) 由于金属膜电阻器的温度系数比碳膜电阻器小得多，所以可以用万用表测电阻器的阻值，然后用烧热的电烙铁靠近电阻器，如果阻值变化很大，则为碳膜电阻器，反之则为金属膜电阻器。

### 3. 线绕电阻器

线绕电阻器是用电阻丝绕在绝缘骨架上再经过绝缘封装处理而成的一类电阻器，电阻丝一般采用一定电阻率的镍铬、锰铜等合金制成，绝缘骨架一般采用陶瓷、塑料、涂覆绝缘层的金属骨架。常见线绕电阻的外形如图 1-12 所示。



线绕电阻器具有阻值精确、温度系数小、精度较高的特点。在线绕电阻器中，有一种用陶瓷做骨架，在电阻器的外层涂釉或其他耐热并且散热良好的绝缘材料的大功率线绕电阻器。这种线绕电阻器的特点是耗散功率大，可达数百瓦，主要用作大功率负载，并能工作在 150 ~ 300℃ 温度的环境中。

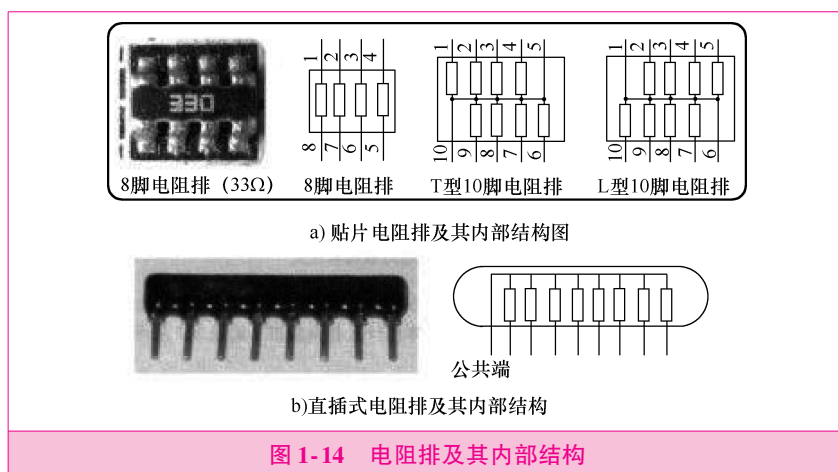
### 4. 熔断电阻器

熔断电阻器又称保险电阻器。熔断电阻器兼备电阻器与熔丝两者的功能，熔断电阻器在正常情况下具有普通电阻器的功能，一旦电路出现故障电流过大，超过其额定功率时，它就会发挥其熔丝的作用来保护机器设备。熔断电阻器分为不可修复型和可修复型两种。熔断电阻器的形状有多种，既有像普通电阻器的，也有其他形状的。常见的熔断电阻器如图 1-13 所示。



## 5. 电阻排

电阻排又称为排电阻，它是将几个相同阻值的电阻器组合在一起形成一排电阻；电阻排一般用于密度高的电路装配，在集成电路比较多的电路中起着上拉电阻和限流电阻的作用。电阻排一般用“RN”表示。常见电阻排及其内部结构如图 1-14 所示。



## 6. 水泥电阻器

水泥电阻器就是用耐火泥（俗称水泥）灌封的电阻器，即将电阻线绕在无碱性耐热瓷件上，外面加上耐热、耐湿及耐腐蚀材料保护固定，并把线绕电阻体放入方形瓷器框内，用特殊无燃性耐热水泥充填密封而成。水泥电阻器有普通水泥电阻器和水泥线绕电阻器两类。水泥电阻器外形如图 1-15 所示。



水泥电阻器通常用于功率大、电流大的场合，有2W、3W、5W、10W甚至更大的功率，水泥电阻器具有体积小、耐振、耐湿、耐热及良好散热、低价格等特性，广泛应用于电源适配器、音响设备、音响分频器、仪器、仪表等设备中。

### 7. 贴片电阻器

贴片电阻器，顾名思义它是一种表面安装片式可贴的电阻器，具有体积小、精度高、稳定性和高频性能好等特点，适用于高精密电子产品的基板中，如图1-16所示。而贴片电阻排则是将多个相同阻值的贴片电阻器制作成一个贴片电阻器，目的是可有效地限制元件数量，减少制造成本和缩小电路板的面积。



图 1-16 贴片电阻器

由于贴片电阻器价格低廉，生产方便，能大面积减少印制电路板（PCB）的面积，减少产品外观尺寸，现在已取代绝大部分传统引线电阻器。目前以手机、掌上电脑（PDA）为代表的绝大多数高密度电子产品多使用贴片电阻器。

### 8. 光敏电阻器

光敏电阻器的外形结构如图1-17所示。光敏电阻器是阻值随着光线的强弱而发生变化的电阻器。其阻值会随着光线的增强而减小。



图 1-17 光敏电阻器

光敏电阻器是利用半导体的光电效应制成的一种电阻值随入射光的强弱而改变的电阻器；入射光强，电阻减小，入射光弱，电阻增大。光敏电阻器一般用于各种光控电路，如对灯光的控制、调节等场合，也可用于光控开关。

### 9. 压敏电阻器

压敏电阻器是指对电压变化很敏感的电阻器。当电压在标称值内，电阻器上的阻值呈无穷大状态；当电压略高于标称电压时，其阻值很快下降，使电阻器处于导通状态；当电压减小到标称电压以下时，其阻值又开始增加。

压敏电阻器主要用在电器设备的输入端，作为过电压保护器件，如防止雷击电压或其

他原因导致的瞬时高电压损坏电器设备。压敏电阻器的外形如图 1-18 所示。



### 10. 热敏电阻器

热敏电阻器的特性是对温度敏感，不同的温度下表现出不同的电阻值。**正温度系数（PTC）热敏电阻器在温度越高时电阻值越大，负温度系数（NTC）热敏电阻器在温度越高时电阻值越小。**

热敏电阻器常用于温度控制，如小型电动机的过热保护、开水器的水温控制、暖风器的温度控制。热敏电阻器的外形如图 1-19 所示。



### 11. 可调电阻器

可调电阻器就是我们平常所说的电位器，是一种阻值可以连续调节的电阻器，在电路中的主要作用是调节电压和电流的大小。

通过手动调节转轴或滑柄，就可改变电位器的电阻值，从而改变电压与电流的大小，其外形如图 1-20 所示。电位器用在调光台灯上，可调节灯光的强弱；用于功放机上，可调节音量、音调。



## 1.2 电阻器的检测及好坏判断

### 1.2.1 普通电阻器的检测

#### 1. 普通电阻器好坏的检测

判断普通电阻器的好坏，主要是用万用表测量其阻值。正常情况下，万用表的读数应与标称阻值大体符合；如果万用表的读数与标称阻值相差很大，或万用表指针不动、指针摆动不稳，则说明该电阻器已经损坏。

一般检测电路中的电阻器可以采用两种方法：一种是在路检测；一种是开路检测。

#### 【重要提醒】

检测电阻器时，不能用两只手同时接触万用表的表笔两端去测量电阻值，因为这样会把人体电阻与被测电阻器并联，从而造成测量误差。

#### 2. 指针式万用表检测电阻器

指针式万用表检测电阻器的方法及步骤见表 1-4。

表 1-4 指针式万用表检测电阻器的方法及步骤

| 步 骤 | 方 法     | 操作说明                                                                                                                                                                                                          |
|-----|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 选择档位及量程 | 将万用表功能旋钮旋到“Ω”档（即欧姆档）任一量程。一般来说，100Ω 以下电阻器选择 $R \times 1$ 或 $R \times 10$ 量程，1 ~ 10kΩ 电阻器选择 $R \times 10$ 或 $R \times 1k$ 量程，10 ~ 100kΩ 电阻器选择 $R \times 1k$ 或 $R \times 10k$ 量程，100kΩ 以上电阻器选择 $R \times 10k$ 量程 |
| 2   | 欧姆调零    | 左手将两支表笔金属棒短接，右手调节“调零旋钮”，万用表指针指示在刻度盘右端“0”位                                                                                                                                                                     |
| 3   | 测量      | 万用表两支表笔分别稳定接触电阻器的两个电极，并从刻度盘上读取指针指示的数据，将数据乘以量程值，所得结果为该电阻器阻值                                                                                                                                                    |
| 4   | 判断好坏    | 所测结果与该电阻器标注值相近，说明该电阻器是好的；若相差太大，则说明有问题。若在各量程测量时，指针均不偏转，说明电阻器已开路损坏                                                                                                                                              |

#### 【重要提醒】

在测量电阻器时，若指针向右偏转太多，就换一个稍低量程重测。若指针向右偏转太少，就换一个稍高的量程重测。尽量使指针指示在刻度盘的中间部位。每换一次量程，都需要重新进行欧姆调零，如图 1-21 所示。

#### 3. 数字万用表检测电阻器

数字万用表检测电阻器的方法及步骤见表 1-5。

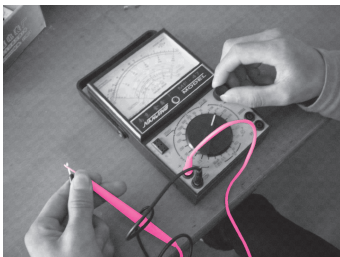


图 1-21 指针式万用表欧姆调零操作

表 1-5 数字万用表检测电阻器的方法及步骤

| 步 骤 | 方 法     | 操 作 说 明                                                                                                                              |
|-----|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 选择档位及量程 | 一般 200Ω 以下电阻器选择“200”量程，200Ω ~ 2kΩ 电阻器选择“2k”量程，2 ~ 200kΩ 电阻器选择“200k”量程，大于 200kΩ 电阻器选择“2M”量程，大于 2MΩ 电阻器选择“20M”量程，大于 20MΩ 电阻器选择“200M”量程 |
| 2   | 测量      | 将万用表表笔分别稳定接触电阻器的两个电极，在显示屏上会显示一个数字，该数字就是该电阻器的阻值                                                                                       |
| 3   | 判断好坏    | 所测结果与该电阻器标注值相近，说明该电阻器是好的；若相差太大，则说明有问题                                                                                                |

4. 在路检测电阻器

使用万用表直接对电路板上的电阻器进行检测，这种检测方法较为简便，可估测电阻器的好坏。但有时会因电路中其他元器件的相互关联，而造成测量值的偏差。因此，在路检测电阻器时，一定要考虑电路中元器件对电阻器的影响。

在路检测的操作步骤及方法见表 1-6。

表 1-6 在路检测电阻器的操作步骤及方法

| 步 骤 | 方 法  | 操 作 说 明                                                                                                                                                                                                                          |
|-----|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 关闭电源 | 将电路板的电源断开                                                                                                                                                                                                                        |
| 2   | 测量   | 根据电阻器的标称阻值，选用欧姆档，并将两支表笔分别放到待测电阻器的两个引脚，测量出一个阻值。将两支表笔对调，然后再测量出另一个阻值，并做好记录                                                                                                                                                          |
| 3   | 判断好坏 | 比较两次测量的阻值，取较大的作为参考值。<br>1) 如果测量电阻值等于或十分接近被测电阻器的标称阻值，可以断定该电阻器正常。但如果需要准确的测量结果时，应将该电阻器从电路板上拆下后进行测量；<br>2) 如果测量电阻值大于被测电阻器的标称阻值，可以断定该电阻器损坏；<br>3) 如果测量电阻值远小于标称阻值（即有一定阻值），此时并不能确定该电阻器损坏，还有可能是由于电路中并联有其他小阻值电阻器，这时就需要采用脱开电路板检测的方法进一步检测证实 |

固定电阻器检测口诀

用表检测电阻器，选好档位测阻值。  
表笔短接先调零，双手莫触电阻体。  
开路测量最有效，在路测量先脱锡。  
测量数值乘倍率，即为实际电阻值。  
阻值为零、无穷大，击穿、断路应抛弃。



5. 万用表检测电位器

检测电位器或微调电阻器的质量好坏时，可分两步进行。

1) **测量电位器的最大阻值**。按照图 1-22a 所示，将万用表的表笔跨接在电位器的两个固定端，测量一下电位器的最大阻值，其读数应为电位器的标称阻值。如果万用表指针不动或阻值相差很多，则表明被测电位器已损坏。

2) **测量电位器滑动片与电阻体接触是否良好**。按照图 1-22b 所示，将万用表的表笔分别接在活动端和一个固定端，同时缓慢地旋转电位器的旋轴，从一个极端转至另一个极端，反复调两次，万用表测出的阻值应在“0”和标称阻值之间变化。如果在电位器旋轴转动过程中，万用表的指针有跳动现象，说明可变触点接触不良，这样的电位器不宜使用。

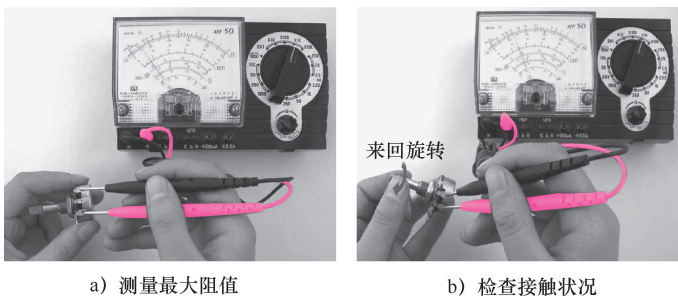


图 1-22 电位器的检测方法

电位器检测口诀

用表检测电位器，选择档位要合适。  
表笔分接两边端，测量两端标称值。  
指针不稳接不良，指针不摆体开裂。  
检测体臂的接触，测阻同时看针移。  
平稳移动为正常，跳动表明体臂离。

1.2.2 光敏电阻器的检测

1. 指针式万用表检测光敏电阻器

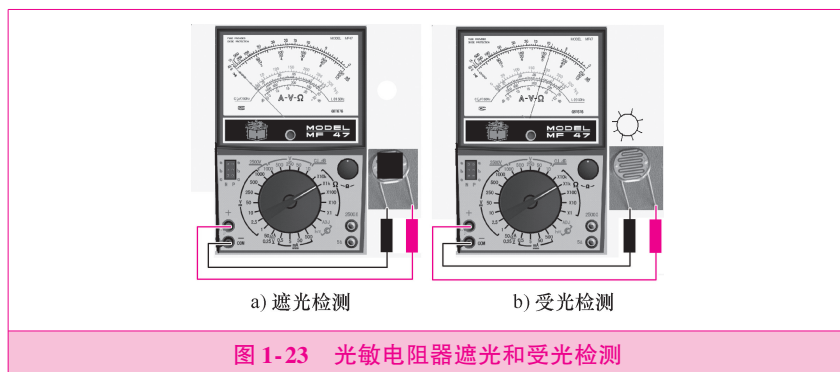
(1) 遮光检测

检测时，将万用表拨到“ $R \times 1k$ ”档，用一黑纸片将光敏电阻器的透光窗口遮住，此时万用表的指针基本保持不动，阻值接近无穷大，如图 1-23a 所示。此值越大说明光敏电阻器性能越好。若此值很小或接近为零，说明光敏电阻器已经烧坏，不能继续使用。

(2) 受光检测

将一光源对准光敏电阻器的透光窗口，此时万用表的指针应有较大幅度的摆动，阻值

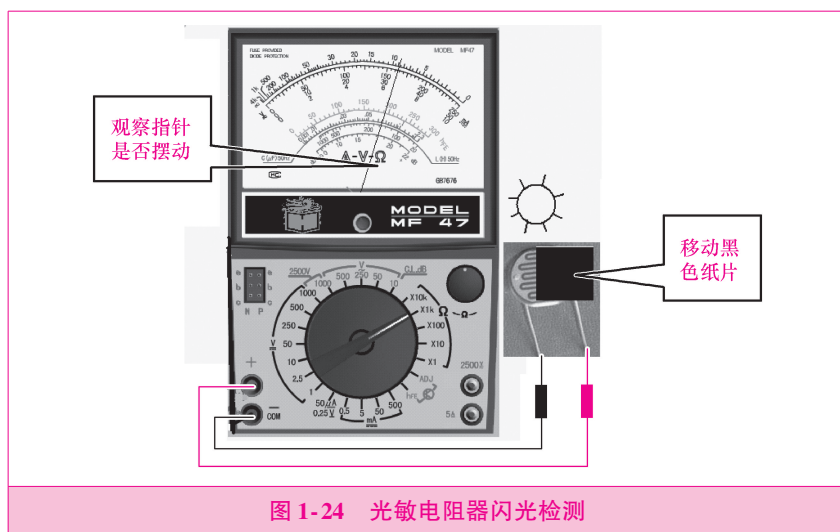
明显减小。此值越小说明光敏电阻器性能越好，如图 1-23b 所示。若此值很大甚至无穷大，说明光敏电阻器内部开路损坏，也不能继续使用。



### (3) 闪光检测

16

将光敏电阻器透光窗口对准入射光线，用小黑纸片在光敏电阻器的遮光窗上部晃动，使其间断受光，此时万用表指针应随黑纸片的晃动而左右摆动，如图 1-24 所示。如果万用表指针始终停在某一位置不随纸片晃动而摆动，说明光敏电阻器已经损坏。



### 光敏电阻器检测口诀

测量暗阻要遮盖，测量结果才适当。  
明阻需用光线晃，表盘数值才下降。  
暗阻明阻相差大，电阻良好可用上。  
暗阻明阻一个样，交给小孩做看样。

2. 数字万用表检测光敏电阻器

- 1) 光敏电阻器亮阻的检测方法是，将数字万用表拨向  $200\Omega$  档，让光敏电阻器处在一定的光线下，黑、红表笔分别接在光敏电阻器的两只引脚，显示屏上的读数即是光敏电阻器的亮阻。
- 2) 光敏电阻器暗阻的检测方法是，用一块黑色不透光的布完全盖严，不让光照射光敏电阻器，此时显示屏上的读数即是光敏电阻器的暗阻。

1.2.3 压敏电阻器的检测

检测压敏电阻器时，用万用表的“ $R \times 1k$ ”档测量压敏电阻器两引脚之间的正、反向绝缘电阻，应均为无穷大，则表明压敏电阻器良好，如图 1-25 所示。



图 1-25 压敏电阻器的检测

如果测得的阻值不是无穷大，说明有漏电流。若所测阻值很小或为 0，则表明压敏电阻器已损坏，不能使用。

压敏电阻器检测口诀

正反测量各一次，看了结果就判断。  
电阻无穷说声好，电阻为零已损坏。

1.2.4 热敏电阻器的检测

1. 正温度系数热敏电阻器的检测

检测正温度系数热敏电阻器时，用万用表  $R \times 1$  档，具体可分为常温检测和加温检测两步操作。

(1) 常温检测（室内温度接近  $25^{\circ}\text{C}$ ）

将两表笔接触正温度系数热敏电阻器的两引脚，测出其实际阻值，并与标称阻值相对

比，两者相差在  $\pm 2\Omega$  内即为正常。若实际阻值与标称阻值相差过大，则说明其性能不良或已损坏。

## （2）加温检测

在常温测试正常的基础上，即可进行加温检测，将一热源（例如电烙铁）靠近正温度系数热敏电阻器对其加热（见图 1-26），同时用万用表监测其电阻值是否随温度的升高而增大，如是，说明热敏电阻器正常；若阻值无变化，说明其性能变劣，不能继续使用。

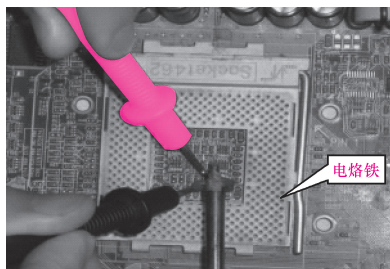


图 1-26 正温度系数热敏电阻器的加温检测

## 【重要提醒】

不要使热源与正温度系数热敏电阻器靠得过近或直接接触热敏电阻器，以防止将其烫坏。

## 2. 负温度系数热敏电阻器的检测

### （1）测量标称电阻值

用万用表测量负温度系数热敏电阻器的方法与测量普通固定电阻器的方法相同，即根据负温度系数热敏电阻器的标称阻值选择合适的欧姆档，可直接测出标称电阻值的实际值。但因负温度系数热敏电阻器对温度很敏感，故测试时应注意以下几点。

1) 标称电阻值是生产厂家在环境温度为  $25^{\circ}\text{C}$  时所测得的，所以用万用表测量标称电阻值时，也应在环境温度接近  $25^{\circ}\text{C}$  时进行，以保证测试的可信度。

2) 测试时，不要用手捏住热敏电阻体，以防止人体温度对测试产生影响。

### （2）估测温度系数

先在室温  $t_1$  下测得电阻值  $R_{t_1}$ ，再用电烙铁作热源，靠近热敏电阻器，测出电阻值  $R_{t_2}$ ，同时用温度计测出此时热敏电阻器表面的平均温度  $t_2$  再进行计算。

### 热敏电阻器检测口诀

测量热敏电阻器，室内温度  $25^{\circ}\text{C}$ 。  
烙铁加热引脚处，阻值变化为正常。

## 1.2.5 气敏电阻器的检测

气敏电阻器是电阻值随外界气体种类和浓度变化而明显变化的气敏元件。气敏电阻器是一种半导体敏感器件，它是利用气体的吸附而使半导体本身的电导率发生变化这一机理来进行检测的。使用气敏电阻器可以把某种气体的成分、浓度等参数转换成电阻变化量，再转换为电流、电压信号。

气敏电阻器工作时需要本身的温度比环境温度高很多。为此，气敏电阻器在结构上要有加热器，通常用电阻丝加热，如图 1-27 所示。

检测气敏电阻器时，首先要判断哪两个电极 of 加热器引脚，哪两个为电阻值引脚。由于气敏电阻加热器引脚的电阻值较小，应将万用表置于最小欧姆档。

万用表两表笔分别任意接触两个引脚测量其电阻值，一般电阻值为  $30 \sim 40\Omega$  的两个引脚为加热器电极，余下的两个引脚为电阻值电极。

将指针式万用表置于  $R \times 1k$  档或者数字万用表置于  $20k$  档，红、黑表笔分别接气敏电阻器的电阻值电极。气敏电阻器的加热器电极接一只限流电阻与电源相连接，对气敏电阻器进行加热，观察万用表显示的电阻值的变化情况。在清洁空气中接通电源时，万用表显示的电阻值为刚开始应先变小，随后电阻值逐渐增大，大约几分钟后，电阻值稳定。如果测得的电阻值为零或无穷大，或者在测量过程中电阻值不变化，都说明气敏电阻器已经损坏。

在清洁空气中检测，待其电阻值稳定后，将气敏电阻器置于液化气灶上（打开液化气瓶，释放液化气，但不点火），观察万用表显示的电阻值。如果测得电阻值明显减小，说明该气敏电阻器为 N 型；如果测得电阻值明显增大，说明该气敏电阻器为 P 型；如果测得电阻值变化不明显或者没有变化，说明该气敏电阻器灵敏度差或者已经损坏。

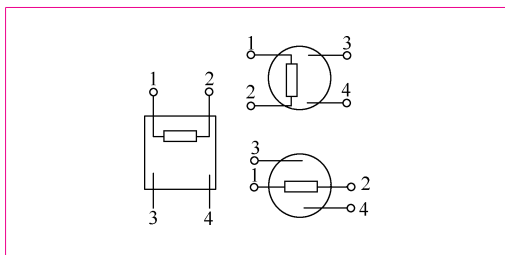


图 1-27 气敏电阻器两对电极

1、2—加热器电极 3、4—气敏电阻器的一对电极

#### 气敏电阻器检测口诀

先找加热器电极，阻值三四十欧姆。  
加热电极接电阻，串联接入电源中。  
阻值电极接表笔，清洁空气中检测，  
接通电源看阻值，由小变大能稳定。  
置于液化气灶上，观察显示电阻值，  
明显减小为 N 型，明显增大为 P 型；  
阻值变化不明显，表明灵敏度很差；  
阻值基本无变化，表明器件已损坏。

## 1.3 电阻器的应用

### 1.3.1 普通电阻器的基本应用

#### 1. 利用电阻器限流

为使通过元器件的电流不超过额定值或实际工作需要的规定值，以保证元器件正常工作，通常可在电路中**串联一个电阻器**。当改变这个电阻器的大小时，电流的大小也随之改

变。我们把这种可以限制电流大小的电阻器叫作限流电阻器。图 1-28 所示为常用的指示灯电路，适当调节接入电阻器的大小，可使流过合格发光二极管的电流保持稳定。

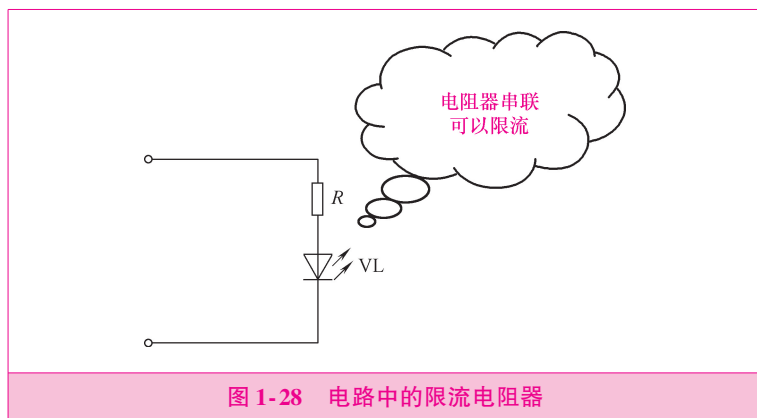


图 1-28 电路中的限流电阻器

20

## 2. 利用电阻器分流

当在电路中需同时接入几个额定电流不同的元器件时，可以在额定电流较小的元器件两端**并联一个电阻器**，这个电阻器的作用是“分流”。例如，有 A、B 两个灯泡，额定电流分别是 0.3A 和 0.6A，显然两灯泡不能直接串联接入同一电路。但若在 A 灯两端并联一个合适的分流电阻器，则当开关闭合时，A、B 两灯便都能正常工作了，如图 1-29 所示。

## 3. 利用电阻器分压

在一个电路中，如果元器件需要的工作电压比电路中的供电电压低，则不可把元器件直接接在电源上。在这种情况下，可给元器件**串联一个合适阻值的电阻器**，让它分担一部分电压，元器件便能在额定电压下工作，我们称这样的电阻器为降压电阻器（也叫分压电阻器）。如图 1-30 所示的电路中，当接入合适的降压电阻器后，额定电压为 3V 的电灯便可接电压为 12V 的电源。

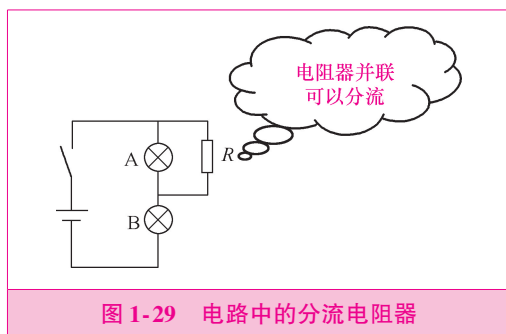


图 1-29 电路中的分流电阻器

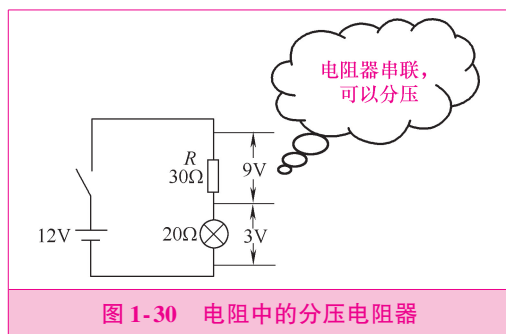


图 1-30 电阻中的分压电阻器

## 1.3.2 电阻器的代换

### 1. 普通固定电阻器的代换

普通固定电阻器损坏后，可以用额定功率、额定阻值均相同的碳膜电阻器或金属膜电



阻器代换。

碳膜电阻器损坏后，可以用额定功率及额定阻值相同的金属膜电阻器代换。

若手中没有同规格的电阻器更换，也可以用电阻器串联或并联的方法作应急处理。根据电阻串联公式（ $\sum R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$ ）将低阻值电阻器变成所需的高阻值电阻器；根据电阻并联公式（ $\sum 1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \cdots + 1/R_n$ ）将高阻值电阻器变成所需的低阻值电阻器。

### 【重要提醒】

通常情况下，一般电路中允许以大功率电阻器替代同值的小功率电阻器。

无论是电阻器串联还是并联，各个电阻器上分担的功率不得超过该电阻器本身允许的额定功率。

## 2. 光敏电阻器的代换

光敏电阻器损坏后，若无同型号的光敏电阻器，则可选用与其类型相同、主要参数相近的其他型号光敏电阻器来代换。

光谱特性不同的光敏电阻器（例如，可见光光敏电阻器、红外光光敏电阻器、紫外光光敏电阻器），即使阻值范围相同，也不能相互代换。

## 3. 热敏电阻器的代换

热敏电阻器损坏后，若无同型号的产品，则可选用与其类型及性能参数相同或相近的其他型号热敏电阻器代换。

1) 消磁用正温度系数热敏电阻器可以用与其额定电压值相同、阻值相近的同类热敏电阻器代用。例如， $20\Omega$ 的消磁用正温度系数热敏电阻器损坏后，可以用 $18\Omega$ 或 $27\Omega$ 的消磁用正温度系数热敏电阻器直接代换。

2) 压缩机起动用正温度系数热敏电阻器损坏后，应使用同型号热敏电阻器或与其额定阻值、额定功率、起动电流、动作时间及耐压值均相同的其他型号热敏电阻器代换，以免损坏压缩机。

3) 微波功率测量、温度检测、温度补偿、温度控制用负温度系数热敏电阻器及过电流保护用正温度系数热敏电阻损坏后，只能使用与其性能参数相同的同类热敏电阻器更换，否则会造成应用电路不工作或损坏。

## 4. 压敏电阻器的代换

压敏电阻器一般应用于过电压保护电路中，压敏电阻器损坏后，应更换与其型号相同的压敏电阻器，或用与其参数相同的其他型号压敏电阻器来代换。代换时，不能任意改变压敏电阻器的标称电压及通流容量，否则会失去保护作用，甚至会被烧毁。

## 5. 熔断电阻器的代换

熔断电阻器损坏后，若无同型号熔断电阻器更换，也可以用与其主要参数相同的其他型号熔断电阻器代换或用电阻器与熔断器串联后代用。

用电阻器与熔断器串联来代换熔断电阻器时，电阻器的阻值和功率应与损坏熔断电阻器的阻值和功率相同，而熔断器的额定电流  $I$  可根据以下公式计算得出：

I = \sqrt{0.6P/R}

式中，P 为原熔断电阻器的额定功率；R 为原熔断电阻器的电阻值。

对电阻值较小的熔断电阻器，也可以用熔断器直接代用。熔断器的额定电流值也可以根据上述的计算公式计算出。

1.3.3 电阻器的连接

电阻器的连接方式有串联、并联和混联等。

1. 电阻器的串联

把两个或者两个以上的电阻器依次连接起来（即头尾相接），只为电流提供唯一的一条路径，没有其他分支的电路连接方式，叫作电阻器串联电路。

2. 电阻器的并联

把两个或两个以上的电阻器并排连接（即头与头、尾与尾相接）在电路中的两个节点之间，为电流提供多条路径的电路连接方式，叫作电阻器并联电路。

3. 电阻器的混联

既有电阻器的串联关系又有电阻器的并联关系，称为电阻器混联。电路中既包含了电阻器的串联，又包含了电阻器的并联称为电阻器混联电路。

电阻器串联、并联的特点见表 1-7。

表 1-7 电阻器串联、并联的特点

| 连接方式<br>参数 | 串 联                                                                                        | 并 联                                                                                                                            |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电 流        | 串联电路中，通过各电阻器的电流相等，即<br>$I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I$                                      | 并联电路的总电流等于各支路电流之和，即<br>$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$                                                                          |
| 电 压        | 两端的总电压等于各电阻器两端的电压之和，即<br>$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n$                              | 总电压与各电阻器上的电压相等，即<br>$U_1 = U_2 = U_3 = \cdots = U$                                                                             |
| 电 阻        | 总电阻等于各电阻之和，即<br>$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$                                       | 总电阻的倒数等于各个并联电阻倒数之和，即<br>$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$                                 |
| 分 压        | 各个电阻器两端分配的电压与其阻值成正比，即<br>$U_1 : U_2 : U_3 : \cdots : U_n = R_1 : R_2 : R_3 : \cdots : R_n$ | 各个支路上的电压相等                                                                                                                     |
| 分 流        | 各个电阻器上流过的电流相等                                                                              | 各个支路分得的电流与电阻成反比，即<br>$I_1 : I_2 : I_3 : \cdots : I_n = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \cdots : \frac{1}{R_n}$ |
| 应 用        | 1) 用于分压。例如音量电位器<br>2) 用于限流。负载上串联一个电阻器，限流<br>3) 扩大伏特表量程。串联电阻器分压，扩大电压表量程                     | 1) 多支路供电网络。如照明<br>2) 分流与扩大电流表量程。并联电阻器分流，扩大电流表量程                                                                                |

两个电阻器串联的分压公式：

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

两个电阻器并联的等效电阻值：

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

两个电阻器并联的分流公式：

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

#### 电阻器串联、并联记忆口诀

串联电路一条线，不分岔来不分电。  
串联电流之关系，各处电流都相等。  
串联电压之关系，总压等于分压和。  
串阻相加总阻增，电压与阻比成正，  
串联电阻分功率，阻与功率比成正。  
电阻串联应用广，分压限流最常用。

头头连，尾尾连，并列两点为并联。  
并联电流之特点，总流等于支流和。  
并联电压之特点，支压都等电源压。  
阻小流大成反比，功率与阻成反比。  
两阻并联积比和，相同电阻作等分。  
电阻并联可分流，照明电路最常用。

#### 【重要提醒】

一般说来，电路里并联的用电器越多，并联部分的电阻就越小，在总电压不变的条件下，电路里的总电流就越大，因此，输电线上的电压降就越大。这样，加在用电器上的电压就越小，每个用电器消耗的功率也越小。在晚上七、八点钟开灯时，使用照明灯的用户多，灯光比较暗，而深夜用户减少时灯光较亮，就是这个缘故。

串联电阻器可以分担一部分电压，使额定电压低的用电器能连到电压高的线路上使用。串联电阻器的这种作用称为分压作用，做这种用途的电阻器称为分压电阻器。但分压电阻器上将有一定的功率损耗，若损耗太大，就不能采用这一方法。

#### 【知识窗】

##### 零欧姆电阻器

零欧姆电阻器又称为跨接电阻器，是一种特殊用途的电阻器，通常指阻值为零的电阻

器，如图 1-31 所示。电路板设计中两点不能用印刷电路连接，常在正面用跨线连接，这在普通板中经常看到。为了让自动贴片机和自动插件机正常工作，用零欧姆电阻器代替跨线，即零欧姆电阻器可以做跳线用。



# 第2章

## 电 容 器

### 2.1 认识电容器

#### 2.1.1 电容器的功能、原理及分类

##### 1. 电容器的功能及单位

电容器是两金属板之间存在绝缘介质的一种电路元件，是电子电路中用量仅次于电阻器的元件。电容器通常简称为电容，用字母  $C$  表示。

电容器的基本单位为法拉，符号为  $F$ ；常用的单位还有  $mF$ （毫法）、 $\mu F$ （微法）、 $nF$ （纳法）、 $pF$ （皮法），它们之间的换算关系为

$$1F = 10^3 mF = 10^6 \mu F = 10^9 nF = 10^{12} pF$$

电容器作为一种最基本的电子元件，在电子电路中，电容器用来通过交流信号而阻隔直流信号，也用来存储和释放电荷以充当滤波器，平滑输出脉动信号。小容量的电容器，通常在高频电路中使用。具体来说，电容器在电路中主要用于滤波、调谐、耦合、旁路、定时及延时等。

##### 2. 电容器的充放电原理

电容器是一种以电场形式存储能量的无源元件。在有需要的时候，电容器能够把存储的能量释出至电路。当电容器连接到一电源是直流电（DC）的电路时，在特定的情况下，有两个过程会发生，分别是电容器的“充电”和“放电”。

(1) 充电

使电容器带电（存储电荷和电能）的过程称为**充电**。这时电容器的两个极板总是一个极板带正电，另一个极板带等量的负电。把电容器的一个极板接电源的正极，另一个极板接电源的负极，两个极板就分别带上了等量的异种电荷。充电后电容器的两极板之间就有了电场，充电过程把从电源获得的电能存储在电容器中。

(2) 放电

使充电后的电容器失去电荷（释放电荷和电能）的过程称为**放电**。例如，用一根导线把电容器的两极接通，两极上的电荷互相中和，电容器就会放出电荷和电能。放电后电容器的两极板之间的电场消失，电能转化为其他形式的能。

在一般的电子电路中，电容器的功能实现都是其充电和放电功能的演变。举一个现实生活中的例子，我们看到市售的整流电源在拔下插头后，上面的发光二极管还会继续亮一会儿，然后逐渐熄灭，就是因为里面的电容器事先存储了电能，然后释放。当然这个电容器原本是用作滤波的。

3. 电容器的分类

两片相距很近的金属中间被某绝缘物质（固体、气体或液体）所隔开，就构成了电容器。两片金属称为极板，中间的物质叫作介质。电容器的种类很多，见表 2-1。

表 2-1 电容器的分类

| 分 类 方 法       | 种 类                                                                                                                                                                   |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按其结构及容量是否可调节分 | 固定电容器，可变电容器（包括微调电容器）                                                                                                                                                  |
| 按介质材料的不同分     | 有机介质电容器（包括漆膜电容器、混合介质电容器、纸介电容器、有机薄膜介质电容器、纸膜复合介质电容器等）、无机介质电容器（包括陶瓷电容器、云母电容器、玻璃膜电容器、玻璃釉电容器等）、电解电容器（包括铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器、钛电解电容器及合金电解电容器等）和气体介质电容器（包括空气电容器、真空电容器和充气电容器等） |
| 按作用及用途的不同分    | 高频电容器、低频电容器、高压电容器、低压电容器、耦合电容器、旁路电容器、滤波电容器、中和电容器、调谐电容器                                                                                                                 |
| 按封装外形的不同分     | 圆柱形电容器、圆片形电容器、管形电容器、叠片形电容器、长方形电容器、珠状电容器、方块状电容器和异形电容器等                                                                                                                 |
| 按引出线的不同分      | 轴向引线型电容器、径向引线型电容器、同向引线型电容器和无引线型（贴片式）电容器                                                                                                                               |

2.1.2 电容器的参数与标注

1. 电容器的主要参数

电容器的参数比较多，这里介绍几种常用的参数，见表 2-2。



表 2-2 电容器的主要参数

| 参 数           | 说 明                                                                                                                                      |      |      |      |       |       |       |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 标称容量<br>及允许偏差 | 标称容量是指标注在电容器上的电容量。标称容量的标注方法有直标法、色标法等，具体的识别方法将在以后的内容中做详细介绍。                                                                               |      |      |      |       |       |       |
|               | 允许偏差是指电容器的标称容量与实际容量之间的允许最大偏差范围。通常情况下，电容器的容量越小，允许偏差越小。                                                                                    |      |      |      |       |       |       |
|               | 电容器容量的允许偏差标注字母及含义如下：                                                                                                                     |      |      |      |       |       |       |
|               | 字母                                                                                                                                       | F    | G    | J    | K     | M     | N     |
|               | 含义                                                                                                                                       | ± 1% | ± 2% | ± 5% | ± 10% | ± 20% | ± 30% |
| 额定工<br>作电压    | 在常温常压状态，能够长期加在电容器上而不损坏电容器的最大直流电压或交流电压的有效值，称为额定工作电压。                                                                                      |      |      |      |       |       |       |
|               | 电容器的额定工作电压是一个非常重要的参数，在使用中，如果工作电压大于电容器的额定电压，电容器是要损坏的。如果电路故障造成加在电容器上的工作电压大于它的额定电压时，电容器将会被击穿                                                |      |      |      |       |       |       |
| 温度系数          | 一般情况下，电容器的电容量是随温度变化而变化的，电容器的这一特性用温度系数来表示。温度系数有正、负之分，正温度系数电容器的电容量随温度升高而增大，负温度系数电容器则是随温度升高而电容量下降。使用中，希望电容器的温度系数越小越好。                       |      |      |      |       |       |       |
|               | 当电路工作对电容器的温度有要求时，应采用温度补偿电路                                                                                                               |      |      |      |       |       |       |
| 漏电流           | 当电容器加上直流电压时，在一定的工作温度和电压条件下，总有一定的电流会通过电容器，称为电容器的漏电流。                                                                                      |      |      |      |       |       |       |
|               | 一般来说，电解电容器的漏电流大一些，陶瓷电容器、云母电容器等的漏电流较小                                                                                                     |      |      |      |       |       |       |
| 绝缘电阻          | 绝缘电阻也称漏电阻，它与电容器的漏电流成反比。漏电流越大，绝缘电阻越小。绝缘电阻越大，表明电容器的漏电流越小，质量也越好                                                                             |      |      |      |       |       |       |
| 损耗因数          | 损耗因数也称电容器的损耗角正切值，用来表示电容器能量损耗的大小。该值越小，说明电容器的质量越好                                                                                          |      |      |      |       |       |       |
| 频率特性          | 频率特性是指电容器对各种不同的频率所表现出的性能（即电容量等电参数随着电路工作频率的变化而变化的特性）。不同介质材料的电容器，其最高工作频率也不同，例如，电容量较大的电容器（如电解电容器）只能在低频电路中正常工作，高频电路中只能使用电容量较小的高频瓷介电容器或云母电容器等 |      |      |      |       |       |       |

2. 电容器的容量标注

电容器的容量标注法有直标法、数字表示法、数字字母法和色标法。

(1) 直标法

直标法是将标称容量及偏差直接标在电容体上。大多数电解电容器的容量标注都是采用这种表示法，许多瓷片电容器、涤纶电容器也是采用这种表示法。

直标法可分为整数标注法和小数标注法，如图 2-1 所示。采用小数标注法时，若是零点零几，常把整数位的“0”省去。如“.01μF”表示0.01μF。

## (2) 数字表示法

数字表示法是只标数字不标单位的直接表示法。常用的有三位数表示法和四位数表示法。采用此法的仅限  $\text{pF}$  和  $\mu\text{F}$  两种电容器。

三位数表示法就是用三位整数表示电容器的标称容量，再用一个字母来表示允许偏差，如图 2-2 所示。其中，第一、第二位为有效值数字，第三位表示倍乘，即表示有效值后“0”的个数，其单位为  $\text{pF}$ 。如“103”表示  $10 \times 10^3 \text{pF}$  ( $0.01 \mu\text{F}$ )。即最后位为 10 的指数，这和数字表示电阻值的方法是一样的。

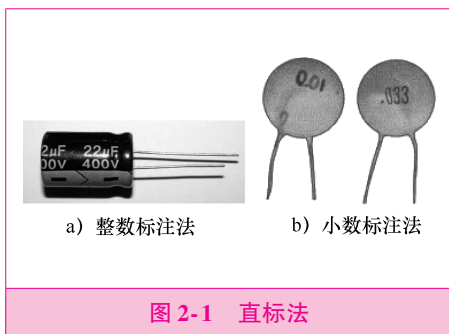


图 2-1 直标法

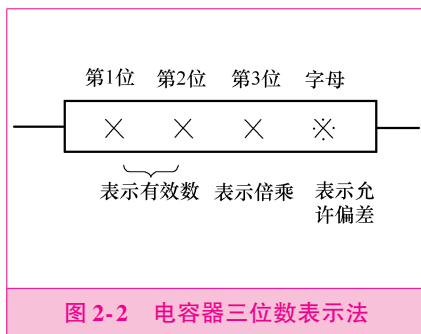


图 2-2 电容器三位数表示法

例如，某瓷片电容器上印有“104、K、200”三行字，代表该电容器电容量为  $10 \times 10^4 \text{pF} = 0.1 \mu\text{F}$ ，电容量偏差为 K 级 ( $\pm 10\%$ )，额定工作耐压为 200V。某电容器上印有 105J，表示电容器电容量为  $1000000 \text{pF} = 1 \mu\text{F}$ ，表示电容量偏差为  $\pm 5\%$ 。如图 2-3 所示，该电容器的电容量为  $22 \times 10^4 \text{pF} = 0.22 \mu\text{F}$ ，电容量偏差为 J 级 ( $\pm 5\%$ )，额定工作耐压为 160V。



图 2-3 识读电容器举例

在四位数表示法中，用四位整数表示电容器的标称容量，其单位为  $\text{pF}$ ，如  $5100 \text{pF}$ 、 $6800 \text{pF}$  等，如图 2-4 所示。



图 2-4 四位数表示法

## (3) 数字字母法

容量的整数部分写在容量单位标志字母的前面，容量的小数部分写在容量单位标志字母的后面，如图 2-5 所示。如  $1.5 \text{pF}$  写成  $1\text{p}5$ 。有些电容器也采用“R”表示小数点，如

R47μF 表示 0.47μF。

(4) 色标法

其标注颜色的含义与电阻器采用的相同，容量单位为 pF。对于立式电容器，色环顺序**从上而下，沿引线方向排列**。第一、二颜色表示电容器的两位有效数字，第三颜色表示有效数字后面“0”的个数，电容器的单位规定用 pF。图 2-6 所示为色标法举例。如果某个色环的宽度等于标准宽度的 2 倍或 3 倍，则表示相同颜色的有 2 个或 3 个色环。

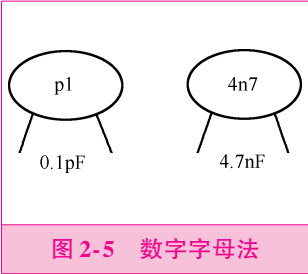


图 2-5 数字字母法

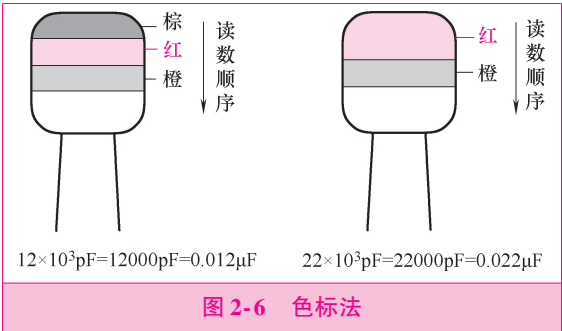


图 2-6 色标法

【重要提醒】

有时小型电解电容器的工作电压也采用色标法表示，例如，6.3V 用棕色、10V 用红色、16V 用灰色，通常是标注在引线根部。

3. 电容器耐压值的标注

电容器耐压值的标注有两种常见方法：

- 1) 把耐压值直接印在电容器的外壳上，例如电解电容器通常直接在外壳上标注耐压值。
- 2) 采用一个数字和一个字母组合而成。数字表示 10 的幂指数，字母表示数值，单位是 V（伏），见表 2-3。

表 2-3 电容器的耐压数值与字母代号对照表

| 字母  | A   | B    | C   | D   | E   | F    | G   | H   | J   | K   | Z   |
|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 耐压值 | 1.0 | 1.25 | 1.6 | 2.0 | 2.5 | 3.15 | 4.0 | 5.0 | 6.3 | 8.0 | 9.0 |

例如：2A 代表  $1.0 \times 10^2 = 100V$ （即 1.0 乘以 10 的 2 次幂）；

2G 代表  $4.0 \times 10^2 = 400V$ ；

1J 代表  $6.3 \times 10^1 = 63V$ 。

数字最大值为 4，如 4D 表示  $2.0 \times 10^4 = 2.0 \times 10000 = 20000V$ 。

2.1.3 电路中常用的几种电容器

1. 铝电解电容器

铝电解电容器是由铝圆筒做负极，里面装有液体电解质，插入一片弯曲的铝带做正极而制成。

铝电解电容器属于有极性元件，其特点是容量较大、漏电大、稳定性差、有正负极性，适用于电源滤波或低频电路。

铝电解电容器的外形如图 2-7 所示，在使用时，正、负极不允许反接，否则容易击穿损坏。

## 2. 陶瓷电容器

陶瓷电容器就是用陶瓷作为电介质，在陶瓷基体两面喷涂银层，然后经低温烧成银质薄膜作极板而制成。

陶瓷电容器的外形以片式居多，也有管形、圆形等形状，如图 2-8 所示。

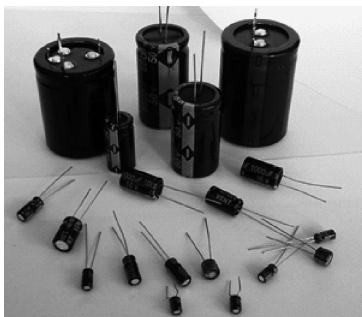


图 2-7 铝电解电容器



图 2-8 陶瓷电容器

陶瓷电容器的特点是体积小、耐热性好、损耗小、绝缘电阻高，但容量较小，适用于高频电路。贴片陶瓷电容器容量较大，但损耗较大，适用于低频电路。

## 3. 云母电容器

云母电容器采用天然云母作为电容器极间的介质，其形状多为方块状，如图 2-9 所示。云母电容器特点是高频性能稳定，耐压高（几百伏~几千伏），漏电流小，但容量小，体积大。

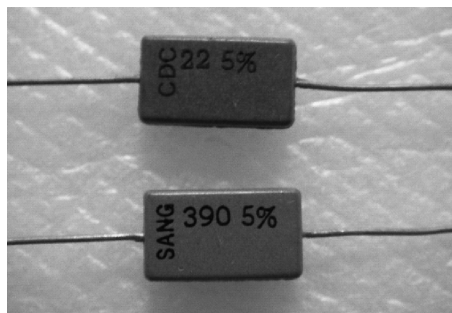


图 2-9 云母电容器

云母电容器作为一种无极性电容器,和一般无极性电容器相比有很大的优点,可以说是无极性电容器中最好的一种。容量一般在  $4.7 \sim 51000\text{pF}$  之间,精度可以达到  $\pm 0.01\% \sim \pm 0.03\%$ ,这是一般电容器难以达到的。

#### 4. 玻璃釉电容器

玻璃釉电容器是一种常用电容器,其介质是玻璃釉粉加压制成的薄片,如图 2-10 所示。主要用于半导体电路和小型电子仪器中的交、直流电路或脉冲电路。

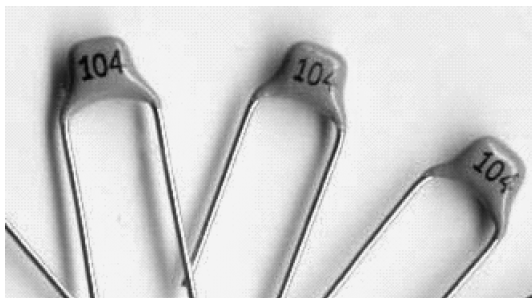


图 2-10 玻璃釉电容器

玻璃釉电容器具有瓷质电容器的优点,但比同容量的瓷质电容器体积小,工作频带较宽,可在  $125^\circ\text{C}$  下工作。

#### 5. 纸介电容器

纸介电容器用特制的电容纸作为介质,铝箔或锡箔作为电极并卷绕成圆柱形,然后接出引线,再经过浸渍处理,用外壳封装或环氧树脂灌封而成。其外形如图 2-11 所示。

由于纸介电容器的介质厚度小,且电容纸具有较高的抗拉强度,故可卷绕成容量大、体积小的电容器,容量可以达到  $1 \sim 20\mu\text{F}$ 。

纸介电容器的电容量范围宽,工作电压高,成本低廉,但是这种电容器的稳定性较差,容易老化,介质损耗大,工作温度一般在  $100^\circ\text{C}$  以下,吸湿性大,需要密封,不适合高频电路工作。目前,低值纸介电容器正被薄膜电容器所取代。



图 2-11 纸介电容器

#### 6. 聚苯乙烯电容器

聚苯乙烯电容器是一种有机薄膜电容器,如图 2-12 所示。以聚苯乙烯为介质,用铝箔或直接在聚苯乙烯薄膜上蒸镀上一层金属膜为电极。其绝缘电阻大、耐压高、漏电流小、精度高,但耐热性差,焊接时,过热会损坏电容器。

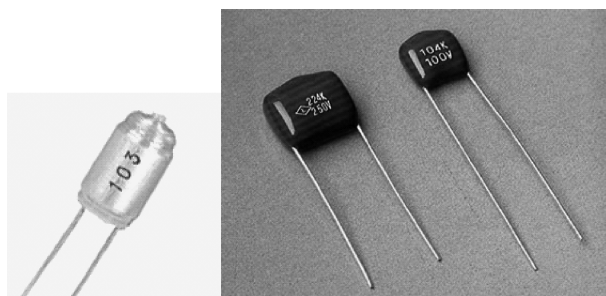


图 2-12 聚苯乙烯电容器

聚苯乙烯电容器应用于各类精密测量仪表，汽车收音机，工业用接近开关、高精度的数模转换电路。

### 7. 独石电容器

独石电容器是以钛酸钡为主的陶瓷材料烧结而成的一种瓷介质电容器，如图 2-13 所示。这种电容器的特点是，温度特性好，频率特性好，成本低，容量比较稳定。

独石电容器不仅可替代云母电容器和纸介电容器，还可取代某些钽电容器，广泛应用于小型和超小型电子设备（如液晶手表和微型仪器）中。

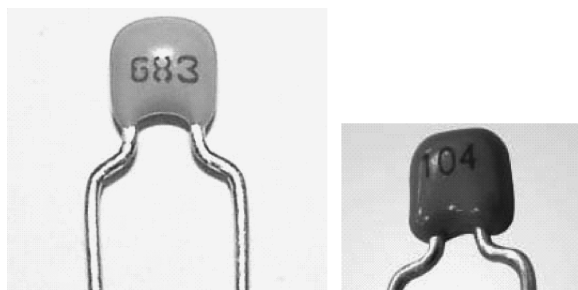


图 2-13 独石电容器

### 8. 可变电容器

可变电容器如图 2-14 所示。顾名思义，可变电容器的电容值可在比较大的范围内发生变化，并可确定为某一个值。可变电容器容量的改变是通过改变极片间相对的有效面积或片间距离，它的电容量就相应地变化。

可变电容器分为薄膜介质和空气介质两种形式。常用于收音机的调谐电路中，常见的有双联电容器、陶瓷电容器等。



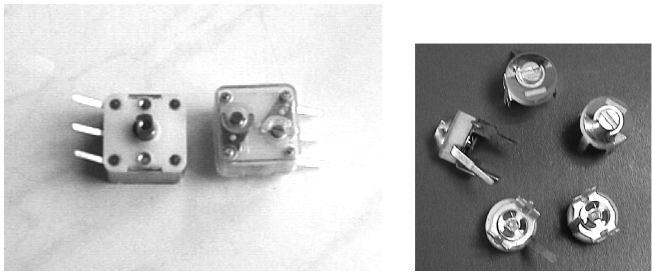


图 2-14 可变电容器

9. 贴片电容器

贴片电容器（多层片式陶瓷电容器）是目前用量比较大的常用元件，就 AVX 公司生产的贴片电容器来讲，就有 NPO、X7R、Z5U、Y5V 等不同的规格，不同的规格有不同的用途。

(1) 贴片电容器的尺寸表示法

贴片电容器的尺寸表示法有两种，一种是以 in 为单位来表示，一种是以 mm 为单位来表示。贴片电容器的系列型号有 0402、0603、0805、1206、1210、1808、1812、2010、2225、2512，是英寸表示法；04 表示长度是 0.04in，02 表示宽度是 0.02in，其他类同型号尺寸（mm）。

(2) 贴片电容器的类型

贴片电容器可分为无极性和有极性两类，如图 2-15 所示。

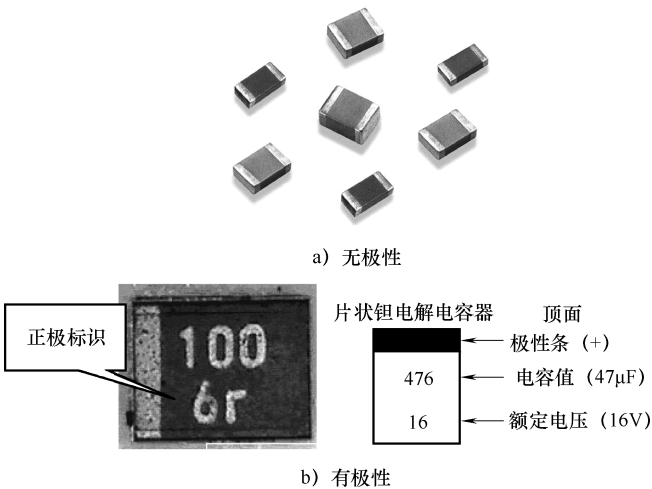


图 2-15 贴片电容器

- 1) 无极性电容器以 0805 和 0603 两类封装最为常见。
- 2) 有极性电容器也就是我们平时所称的电解电容器，我们平时用得最多的为铝电解电容器，由于其电解质为铝，所以其温度稳定性以及精度都不是很高，而贴片元件由于其紧贴电路板，所以要求温度稳定性要高，所以贴片电容器以钽电容器为多，根据其耐压不同，贴片电容器又可分为 A、B、C、D 四个系列，具体分类见表 2-4。

表 2-4 贴片钽电容器根据耐压分类

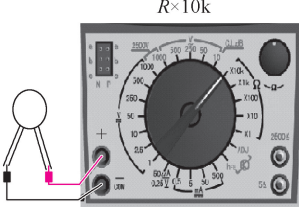
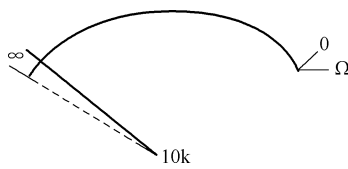
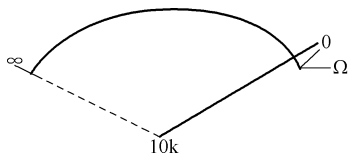
| 类 型 | 封 装 形 式 | 耐压/V |
|-----|---------|------|
| A   | 3216    | 10   |
| B   | 3528    | 16   |
| C   | 6032    | 25   |
| D   | 7343    | 35   |

2.2 电容器的检测及好坏判断

2.2.1 用指针式万用表检测电容器

用指针式万用表测量电容器的质量好坏，是电容器充放电特性的具体应用，具体检测方法见表 2-5 和表 2-6。

表 2-5 指针式万用表检测无极性电容器的方法

| 接线示意图                                                                                                                    | 表头指针指示                                                                              | 说 明                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|  <p>测量0.01<math>\mu</math>F以下的电容器</p> |  | 由于容量小，充电电流小，现象不明显，指针向右偏转角度不大，阻值为无穷大 |
|                                                                                                                          |  | 如果测出阻值为（指针向右摆动）为零，则说明电容漏电损坏或击穿      |

(续)

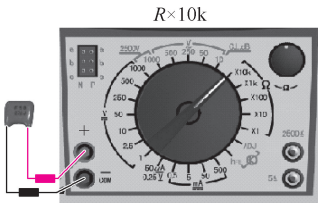
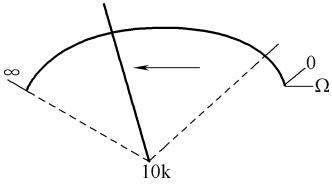
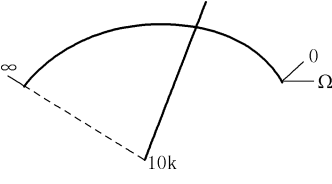
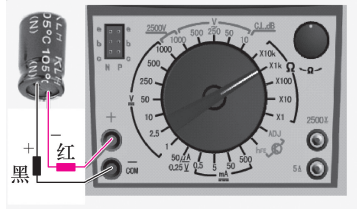
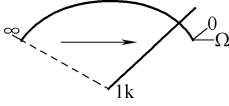
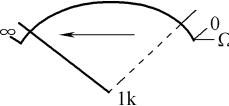
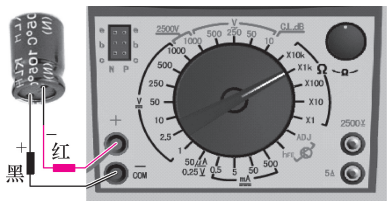
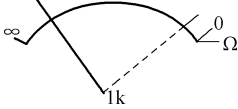
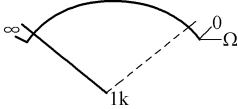
| 接线示意图                                                                                                                                                  | 表头指针指示                                                                            | 说 明                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><math>R \times 10k</math></p> <p>0.01<math>\mu F</math>以上的电容器</p> |  | 容量越大，指针偏转角度越大，向左返回也越慢                                                                    |
|                                                                                                                                                        |  | 如果指针向右偏转后不能返回，说明电容器已经短路损坏；如果指针向右偏转，然后向左返回稳定值后，阻值小于500k $\Omega$ ，说明电容器绝缘电阻太小，漏电流较大，也不能使用 |

表 2-6 指针式万用表检测有极性电容器的方法

| 接线示意图                                                                                                     | 表头指针指示                                                                              | 说 明                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | 不接万用表                                                                               | 检测前，先将电容器两引脚短接，以放掉电容器内残余的电荷                                                                           |
|  <p>有极性(电解)电容器质量检测</p> |  | 黑表笔接电容器的正极，红表笔接电容器的负极，指针迅速向右偏转，而且电容量越大，偏转角度越大，若指针没有偏转，说明电容器开路失效                                       |
|                                                                                                           |  | 指针到达最右端之后，开始向左偏转，先快后慢，表头指针向左偏到接近电阻无穷大处，说明电容器质量良好。指针指示的电阻值为漏电阻值。如果指示的值不是无穷大，说明电容器质量有问题。若阻值为零，说明电容器已经击穿 |

(续)

| 接线示意图                                                                                              | 表头指针指示                                                                            | 说 明                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>电解电容器极性判断</p>  |  | <p>若电解电容器的正、负极性标注不清楚，用万用表 <math>R \times 1k</math> 档可以将电容器正、负极性判定出来。方法是先任意测量漏电阻，记住大小，然后交换表笔再测一次，比较两次测量的漏电阻的大小，漏电阻大的那一次黑表笔接的就是电容器正极，红表笔为负极</p> |
|                                                                                                    |  |                                                                                                                                               |

【重要提醒】

在对电容器进行测试操作时，尤其是在对较小容量的电容器检测时，需要反复调换表笔（或者电容器引脚），才能看到万用表指针是否有摆动。

实际经验表明，电解电容器的漏电阻一般应在几百千欧以上，否则，该电容器不能正常工作。

2.2.2 用数字万用表检测电容器

1. 电容量的检测

许多数字万用表都具有测量电容器的功能，其量程分为 2000p、20n、200n、 $2\mu$ 、 $20\mu$  和  $200\mu$  六档。2000p 档，宜于测量小于 2000pF 的电容器；20n 档，宜于测量 2000pF ~ 20nF 之间的电容器；200n 档，宜于测量 20 ~ 200nF 之间的电容器； $2\mu$  档，宜于测量 200nF ~  $2\mu$ F 之间的电容器； $20\mu$  档，宜于测量 2 ~  $20\mu$ F 之间的电容器； $200\mu$  档，宜于测量 20 ~  $200\mu$ F 之间的电容器。

测量时，将已放电的电容器两引脚直接插入表板上的 Cx 插孔，选取适当的量程后就可读取显示数据，如图 2-16 所示。

2. 质量好坏检测

将数字万用表拨至合适的欧姆档，红表笔和黑表笔分别接触被测电容器的两极，这时显示值将从“000”开始逐渐增加，直至显示溢出符号“1”，说明该电容器正常。

若始终显示“000”，说明电容器内部短路。

若始终显示溢出，则可能是电容器内部极间开路，也可能是所选择的欧姆档不合适。

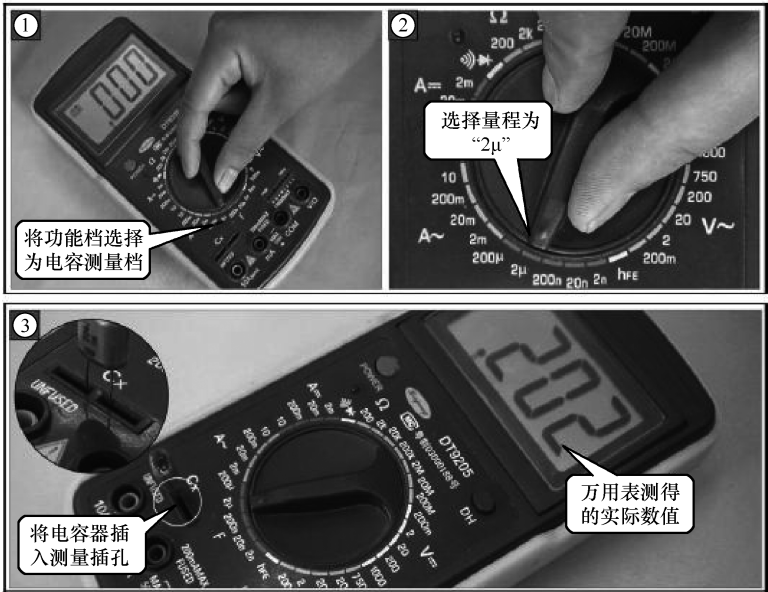


图 2-16 数字万用表测量电容器

检测电解电容器时需要注意，红表笔（带正电）接电容器正极，黑表笔接电容器负极。

电容器检测口诀

电容好坏粗判断，指针式表可测量。  
使用电阻×1k 档，表笔各接一极端。  
指针先摆缓慢回，判断电容为正常。  
指针摆幅看容量，积累经验看现象。  
开始测量针不动，电容内部断路样。  
指针一直不返回，内部短路击穿亡。  
测前放电保安全，换个量程来比较。  
检测可变电容器，表笔不分正负极，  
一手旋转一手测，动、定之间看仔细。  
指针不动为正常，动、定相碰针转移。  
精确测量电容量，数字万用表承担。  
打开开关选择档，引脚插入  $C_x$  孔量。  
显示器上的数值，即为被测电容量。

## 2.3 电容器的应用

### 2.3.1 电容器的连接

在使用电容器时，往往会遇到电容器不合适，或耐压不符合要求的情况，为满足电路的电容量和耐压值，可将几个电容器适当地连接组合起来使用。

电容器和电阻器一样，也有串联和并联关系，但它们串并联的结果正好相反。电容器越串容量越小，但耐压提高；越并容量越大，但耐压值不变，如图 2-17 所示。

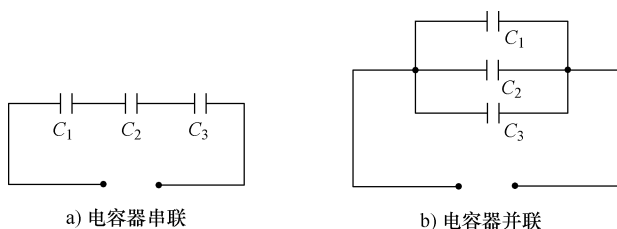


图 2-17 电容器串联和并联

#### 1. 电容器串联

将两个或两个以上的电容器，连接成一个无分支电路的连接方式叫作电容器的串联（**电解电容器串联时要注意极性**，第一个电容器的负极引脚与第二个电容器的正极引脚连接在一起）。

串联电容器具有以下特点。

1) 串联电容器的总电压等于各分电压之和。即

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

各个电容器两端的电压分配与其电容成反比，即

$$U_1 : U_2 : U_3 = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3}$$

提示：容量大的电容器分配到的电压小，容量小的电容器分配到的电压大。

特例，当两个电容器串联时分压公式为

$$U_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} U \quad U_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U$$

2) 总电容的倒数等于各个电容器的电容倒数之和。即

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

特例，当两个电容器串联时，则

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



当  $n$  个电容器的电容量均为  $C_0$  时, 总电容  $C$  为

$$C = \frac{C_0}{n}$$

电容器串联可以提高耐压。当一只电容器的额定工作电压值太小不能满足需要时, 除选用额定工作电压值高的电容器外, 还可采用多个电容器串联的方式来承受较高的工作电压。

## 2. 电容器并联

将几个电容器的一个极板连接在一起, 另一个极板也连在一起的连接方式, 称为电容器的并联 ( **电解电容器并联时要注意极性**, 只能相同极性的引脚连接在一起)。

并联电容器具有以下特点。

1) 各个电容器两端电压相等。即

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

2) 总电容等于各个电容器的电容之和。即

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

当  $n$  个容量均为  $C_0$  的电容器并联时, 则总电容  $C = nC_0$ 。

并联电容器可以增大容量。电容器并联, 相当于扩大了两个极板的正对面积 (有效面积), 所以, 总容量将增大。

电容器并联时, 每只电容器的耐压均应大于外加电压。换言之, 并联电容器的耐压值等于其中耐压值最小的那一个电容器。若该电容器被击穿而短路, 会使整个并联电容器的端电压为零。

### 【重要提醒】

根据电容器的串联和并联的特性, 为业余条件下的制作和修理带来了方便。当我们手头没有容量和耐压合适的电容器时就可以采用串联和并联的办法灵活处理。下面简要介绍电容器串并联使用的注意事项。

1) 我们在实际应用时, 两个或两个以上电容器进行串联和并联时也要考虑它们的耐压问题。在串联情况下, 两个电容器的容量和耐压成反比关系, 即容量大的耐压要求低, 容量小的耐压要求高, 但都可以低于电路电压; 在并联情况下, 要以耐压较低的一个作为使用电压。

2) 如果两个电容器的容量和耐压都相等, 则在串联时其容量减半而耐压加倍; 在并联时其容量加倍而耐压不变。两个以上相同电容器的串联和并联结果与此相仿。

我们在每个电容器耐压高于电路电压的条件下, 为了增减容量而进行并联和串联时, 可以不考虑耐压问题。但如果是为了增加耐压而进行串联, 必须考虑到串联后容量的减少问题。例如, 为了获得  $10\mu\text{F}/6\text{V}$  的电容器, 须用两只容量为  $20\mu\text{F}$ 、耐压  $3\text{V}$  以上的电容器串联而成。如果用两只  $10\mu\text{F}/3\text{V}$  的电容器串联, 只能得到  $5\mu\text{F}/6\text{V}$  的电容器, 显然不符合要求。补救的办法是再用两只  $10\mu\text{F}/3\text{V}$  的电容器串成  $5\mu\text{F}/6\text{V}$  的电容器, 再把两只串联得到  $5\mu\text{F}/6\text{V}$  的电容器并联, 即可得到  $10\mu\text{F}/6\text{V}$  的电容器。

## 【知识窗】

## 交流电动机电容器

与大多数电气设备不同，电动机电容器不作为单独设备与电力系统连接，在各种情况下，电容器均与电动机感应绕组串联，并可能与电动机或其他设备直接接触，电动机和这些其他设备的性能对电容器的运行将产生很大的影响。交流电动机电容器如图 2-18 所示，对电动机电容器最大影响的因素有以下几个。



图 2-18 交流电动机电容器

1) 在电动机电容器与单相感应电动机的辅助绕组串联的地方，电容器引出端的电压在运行状态下通常高于电源电压。

2) 在与电动机直接接触时，电容器不仅受到电动机振动的影响，而且还受到来自通电线圈及电动机铁心和构件产生的热量以及其他热源，如洗衣机的热量，导致电容器温度升高的影响。

3) 大多数电容式电动机（包括电容器），都是频繁地接通和断开的。在运行和起动电容器的引出端上经常发生较高的瞬态值，为了能承受这些瞬态值，应注意选择电容器的额定电压，使其高于工作承受的最高电压。同时，也不能超过最高允许运行温度。

## 2.3.2 电容器的选用与代换

### 1. 电容器的选用

#### (1) 应根据电路要求选择电容器的类型

对于要求不高的低频电路和直流电路，一般可选用纸介电容器，也可选用低频瓷介电容器。在高频电路中，当电气性能要求较高时，可选用云母电容器、高频瓷介电容器或穿心瓷介电容器。在要求较高的中频及低频电路中，可选用塑料薄膜电容器。在电源滤波、去耦电路中，一般可选用铝电解电容器。对于要求可靠性高、稳定性高的电路中，应选用云母电容器、漆膜电容器或钽电解电容器。对于高压电路，应选用高压瓷介电容器或其他类型的高压电容器。对于调谐电路，应选用可变电容器及微调电容器。

#### (2) 合理确定电容器的电容量及允许偏差

在低频的耦合及去耦电路中，一般对电容器的电容量要求不太严格，只要按计算值选

取稍大一些的电容量便可以了。在定时电路、振荡回路及音调控制等电路中,对电容器的电容量要求较为严格,因此选取电容量的标称值应尽量与计算的电容值相一致或尽量接近,应尽量选精度高的电容器。在一些特殊的电路中,往往对电容器的电容量要求非常精确,此时应选用允许偏差在 $\pm 0.1\% \sim \pm 0.5\%$ 范围内的高精度电容器。

### (3) 选用电容器的工作电压应符合电路要求

一般情况下,选用电容器的额定电压应是实际工作电压的1.2~1.3倍。对于工作环境温度较高或稳定性较差的电路,选用电容器的额定电压应考虑降额使用,留有更大的余量才好。

若电容器所在电路中的工作电压高于电容器的额定电压,电容器极易发生击穿现象,使整个电路无法正常工作。

电容器的额定电压一般是指直流电压,若要用于交流电路,应根据电容器的特性及规格选用;若要用于脉动电路,则应按交、直流分量总和不得超过电容器的额定电压来选用。

### (4) 合理选择电容器的损耗因数

电容器的损耗因数值依据介质材料的不同相差很大。损耗因数值对电路的性能(特别是在高频电路中)影响很大,直接影响整机的技术指标,因此,在高频电路中或对信号相位要求严格的电路中应考虑损耗因数数值的大小。

### (5) 应根据电容器工作环境选择电容器

电容器的性能参数与使用环境的条件密切相关,因此在选用电容器时应注意:

- 1) 在高温条件下使用的电容器应选用工作温度高的电容器。
- 2) 在潮湿环境中工作的电路,应选用抗湿性好的密封电容器。
- 3) 在低温条件下使用的电容器,应选用耐寒的电容器。这对电解电容器来说尤为重要,因为普通的电解电容器在低温条件下会使电解液结冰而失效。

### (6) 选用电容器时应考虑安装现场的要求

电容器的外形有很多种,选用时应根据实际情况来选择电容器的形状及引脚尺寸。例如,作为高频旁路用的电容器最好选用穿心式电容器,这样不但便于安装,又可兼作接线柱使用。

### 【重要提醒】

由于各类电容器的生产工艺相差比较大,因而价格也相差很大,在满足产品技术条件的情况下,尽量使用价格低的电容器,以降低产品成本。

优先选用绝缘电阻大、介质损耗小、漏电流小的电容器。

## 2. 电容器的使用及注意事项

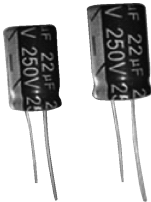
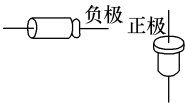
1) 在电容器使用之前,应对电容器的质量进行检查,以防不符合要求的电容器装入电路。

2) 在设计元器件安装时,应使电容器远离热源,否则会使电容器温度过高而过早老化。在安装小容量电容器及高频回路的电容器时,应采用支架将电容器托起,以减少分布电容对电路的影响。

3) 将有极性的电容器装入电路时，一定要注意它的极性不可接反，否则会造成漏电流大幅度的上升，使电容器很快发热而损坏。

有极性的电容器一般采用直标法标出标称容量及允许偏差、额定电压等，同时，还要标出引脚的极性，见表 2-7。

表 2-7 有极性的电容器引脚极性表示方式

| 图 示                                                                                 | 说 明                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|    | 没有使用过的新电容器，采用长短不同的引脚来表示引脚极性，通常长的引脚为正极性引脚。同时，在铝壳的侧面标注“-”表示负极引脚的位置 |
|    | 采用不同的端头形状来表示引脚的极性，这种方式往往出现在两根引脚轴向分布的电解电容器中                       |
|   | 在铝壳的顶部标一个黑色标志，用来表示电容器负极引脚的位置                                     |
|  | 贴片式有极性钽电解电容器的顶面有一条黑色线或白色线，是正极性标记                                 |

4) 焊接电容器的时间不易太长，因为过长时间的焊接温度会通过电极引脚传到电容器的内部介质上，从而使介质的性能发生变化。

5) 电解电容器经长期存储后需要使用时，不可直接加上额定电压，否则会有爆炸的危险。正确的使用方法是，先加较小的工作电压，再逐渐升高电压直到额定电压，并在此电压下保持一个不太长的时间，然后再投入使用。

6) 在电路中安装电容器时，应使电容器的标志安装在易于观察的位置，以便核对和维修，如图 2-19 所示。

7) 电容器并联使用时，其总的电容量等于各容量的总和，但应注意，电容器并联后的工作电压不能超过其中最低的额定电压。

8) 电容器的串联可以增加耐压。如果两只容量相同的电容器串联，其总耐压可以增加一倍；如果两只容量不等的电容器串联，电容量小的电容器所承受的电压要高于容量大的电容器。

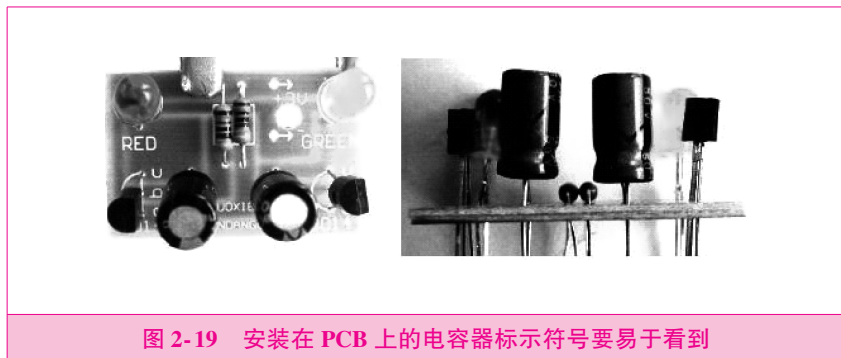


图 2-19 安装在 PCB 上的电容器标示符号要易于看到

9) 有极性的电解电容器不允许在负压下使用,若超过此规定时,应选用无极性的电解电容器或将两个同样规格的电容器的负极相连,两个正极分别接在电路中,此时实际的电容量为两个电容器串联后的等效电容量。

10) 当电解电容器在较宽频带内作滤波或旁路使用时,为了改变高频特性,可为电解电容器并联一只小容量的电容器,它可以起到旁路电解电容器的作用。

11) 在 500MHz 以上的高频电路中,应采用无引线的电容器。若采用有引线的电容器,其引出线应愈短愈好。

12) 几只大容量电容器串联作滤波或旁路使用时,电容器的漏电流会影响电压的分配,有可能会造成某个电容器击穿。此时可在每只电容器的两端并联一阻值小于电容器绝缘电阻的电阻器,以确保每只电容器分压均匀。电阻器的阻值一般在  $100\text{k}\Omega \sim 1\text{M}\Omega$  之间。

13) 使用可变电容器时,转动转轴时松紧程度应适中,有过紧或松动现象的电容器不要使用。除此之外,有碰片现象或短路的电容器也不应使用。

14) 使用微调电容器时,要注意微调机构的松紧程度,调节过松的电容器的容量不会稳定,而调节过紧的电容器极易发生调节时的损坏。

### 【重要提醒】

#### (1) 注意电路图上电容器容量的标注

读者在看电路图时,由于电容器的容量范围很广,与电阻器一样,容量也采用系列化标称值。所不同的是,电阻器因其实用单位都大于或最小等于  $\Omega$ ,故阻值是系列值乘以  $10^0$  以上的正倍率后得出。电容器的实用单位都小于 F,故容量是系列值乘以  $10^0$  以下的负倍率后得出,一般为几 pF 到几千  $\mu\text{F}$ 。在电路图中,为了简便起见,通常把 10000pF 以下的容量不标“pF”(如 5100pF 标作 5100); 10000pF 以上 1000000pF (即  $1\mu\text{F}$ ) 以下不标“pF”或“ $\mu\text{F}$ ” [如 10000pF (即  $0.01\mu\text{F}$ ) 标为 0.01; 150000pF (即  $0.15\mu\text{F}$ ) 标为 0.15];  $1\mu\text{F}$  以上不标“F”,如  $4.7\mu\text{F}$  标为  $4.7\mu$ ,  $2500\mu\text{F}$  标为  $2500\mu$ 。

#### (2) 电容器的容抗

电容器只允许交流电流通过,且具有隔断直流的作用,这是它的最大特点。实际上,交流电流流过电容器时,电容器也是有一定容抗的。容抗的大小与交流信号频率及电容容

量成反比。也就是说，频率越高，容量越大，电容器对交流信号的容抗越小。

### 3. 电容器的代换

电容器损坏后，原则上应使用其类型相同、主要参数相同、外形尺寸相近的电容器来更换。但若找不到同类型的电容器，也可用其他类型的电容器代换。

#### (1) 普通电容器的代换

普通电容器中，玻璃釉电容器和云母电容器一般用于高频和超高频电路；涤纶电容器和瓷介电容器一般用于中、低频电路。

玻璃釉电容器或云母电容器损坏后，也可用与其主要参数相同的瓷介电容器代换。纸介电容器损坏后，可用与其主要参数相同但性能更优的有机薄膜电容器或低频瓷介电容器代换。

#### (2) 电解电容器的代换

电解电容器中的铝电解电容器一般用于电源电路、中频电路、低频电路；非固体钽电解电容器一般用于通信设备及高精密电子设备的电路；无极性铝电解电容器一般用于音箱分频电路、电视机失真校正电路、电动机起动电路等。

对于一般电解电容器，可以用耐压值较高的电容器代换容量相同但耐压值低的电容器。

用于信号耦合、旁路的铝电解电容器损坏后，可用与其主要参数相同但性能更优的钽电解电容器代换。电源滤波电容器和退耦电容器损坏后，可以用较其容量略大、耐压值与其相同（或高于原电容器耐压值）的同类型电容器更换。

#### (3) 可变电容器的代换

可变电容器主要用于调谐电路，代换时，相关参数都要符合应用电路的要求。

# 第3章

## 电感器和变压器

### 3.1 电感器

#### 3.1.1 电感器简介

##### 1. 电感器的种类

电感器是常用的基本电子元件之一，通常简称为“电感”。它曾经与电阻器、电容器一起被称为电工学的三大件。电感器的种类见表 3-1。

表 3-1 电感器的种类

| 分 类 方 法  | 种 类                                          |
|----------|----------------------------------------------|
| 按电感是否变化分 | 固定电感器、可变电感器和微调电感器                            |
| 按磁体的性质分  | 空心线圈、磁心线圈                                    |
| 按结构分     | 单层线圈、多层线圈                                    |
| 按工作频率分   | 高频电感器、中频电感器和低频电感器                            |
| 按用途分类    | 振荡电感器、校正电感器、显像管偏转电感器、阻流电感器、滤波电感器、隔离电感器、补偿电感器 |

##### 2. 电感器的作用

电感器又称为电感线圈，一般是用漆包线、纱包线或塑皮线等在绝缘骨架或磁心、铁



心上绕制成的一组串联的同轴线匝。它在电路中用字母“ $L$ ”表示。

电感器同电容器一样，也是一种储能元件，可以把电能与磁场能相互转换。

电感器的作用主要是**通直流、阻交流**，在电路中主要起到**滤波、振荡、延迟、陷波**等作用。电感线圈对交流电流有阻碍作用，阻碍作用的大小称感抗  $X_L$ ，单位是  $\Omega$ 。

电感器还有**筛选信号、过滤噪声、稳定电流及抑制电磁波干扰**等作用。在电子设备中，经常看到磁环，这种磁环与连接电缆构成一个电感器（电缆中的导线在磁环上绕几圈电感线圈），它是电子电路中常用的抗干扰元件，对高频噪声有很好的屏蔽作用，故被称为吸收磁环。

### 【重要提醒】

电感器具有**阻交流通直流、阻高频通低频**的作用。也就是说，高频信号通过电感线圈时会遇到很大的阻力，很难通过，而对低频信号通过它时所呈现的阻力则比较小，即低频信号可以较容易地通过它。电感线圈对直流电的电阻几乎为零。

46

### 3. 电感器的外形特征

各种电感器的外形差异较大，一般来说，**电感器至少有两根引脚**，如图 3-1 所示。



图 3-1 常用电感器的外形

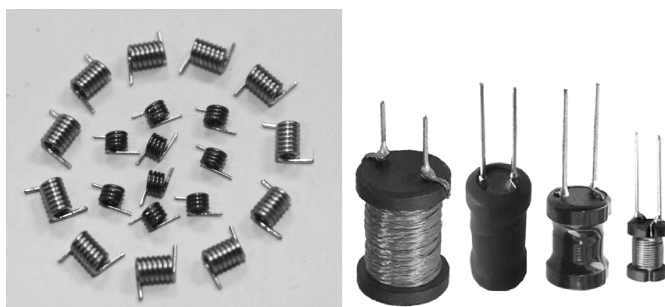
没有抽头的电感器只有两根引脚，这两根引脚没有极性之分，使用时可以互换。如果电感器有抽头，引脚数目会在三根及以上，这些引脚就有头、尾和抽头的区别，使用时不能搞错。

最简单的电感器是用绝缘导线空心地绕几圈，有磁心的电感器是在磁心或者铁心上用绝缘导线绕几圈，如图 3-2 所示。

在电子电路中比较常用的**色环电感器**，属于有磁心的电感器，它们是在线圈绕制好后，用塑料或环氧树脂等封装材料将线圈和磁心等密封起来的，如图 3-3 所示。

在电子产品中，还有一种可调电感器，俗称中周，它有**带螺纹的磁心**，转动磁心可以改变线圈的电感量，如图 3-4 所示。

利用电感器的基本原理，还制成了各种**专用电感器**，见表 3-2。



a) 空心电感器

b) 有磁心或铁心的电感器

图 3-2 电感器

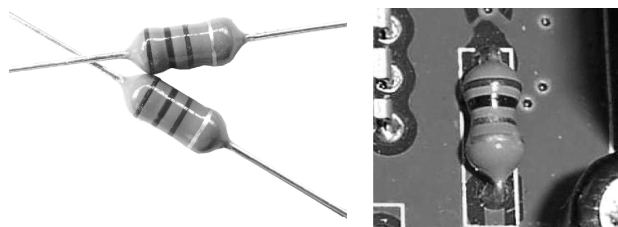


图 3-3 色环电感器

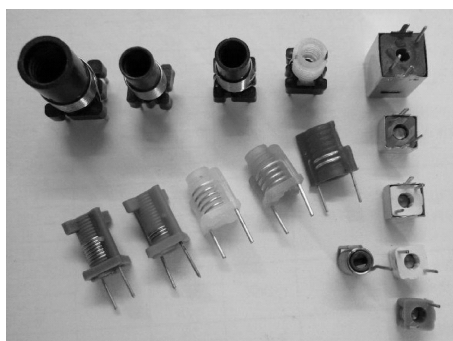
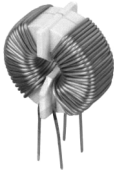


图 3-4 可调电感器

表 3-2 专用电感器

| 名 称   | 图 示                                                                                 | 说 明                                                                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 硬盘磁头  |    | 计算机硬盘磁头是读取数据的关键部件，它的主要作用就是将存储在硬盘盘片上的磁信息转化为电信号向外传输。<br>各种磁头都是用电感器原理制作的 |
| 磁棒天线  |    | 调幅收音机电路中，作为接收广播信号的内置天线                                                |
| 滤波电感器 |    | 连接在电子设备的电源输入端或者输出端，消除各种高频干扰信号，起滤波作用，效果较好                              |
| 功率电感器 |  | 功率电感器是分为带磁罩和不带磁罩两种，主要由磁心和铜线组成。在电路中主要起滤波和振荡作用                          |

4. 电感器的结构特征

从上面的介绍可以看出，各种电感器的外形结构差别较大。一般由**骨架、绕组、屏蔽罩、封装材料、磁心或铁心**等组成，见表 3-3。

表 3-3 电感器的结构说明

| 结 构 | 说 明                                                                                                                                                            |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 骨架  | 泛指绕制线圈的支架。一些体积较大的固定电感器或可调电感器（如振荡线圈、阻流圈等），大多数是将漆包线（或纱包线）环绕在骨架上，再将磁心或铜心、铁心等装入骨架的内腔，以提高其电感量。骨架通常是采用塑料、胶木、陶瓷制成，根据实际需要可以制成不同的形状。小型电感器（例如色码电感器）一般不使用骨架，而是直接将漆包线绕在磁心上 |
| 绕组  | 绕组是指具有规定功能的一组线圈，它是电感器的基本组成部分。绕组有单层和多层之分。<br>单层绕组又有密绕（绕制时导线一圈紧靠着一圈）和间绕（绕制时每圈导线之间均隔一定的距离）两种形式；多层绕组有分层平绕、乱绕、蜂房式绕法等多种                                              |

(续)

| 结 构  | 说 明                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------|
| 磁心   | 一般采用镍锌铁氧体（NX 系列）或锰锌铁氧体（MX 系列）等材料，它有工字形、柱形、帽形、E 形、罐形等多种形状              |
| 铁心   | 铁心材料主要有硅钢片、坡莫合金等，其外形多为 E 形                                            |
| 屏蔽罩  | 为避免有些电感器在工作时产生的磁场影响其他电路及元器件正常工作，就为其增加了金属屏蔽罩（例如半导体收音机的振荡线圈等），如图 3-5 所示 |
| 封装材料 | 有些电感器（如色码电感器、色环电感器等）绕制好后，用封装材料将线圈和磁心等密封起来。封装材料采用塑料或环氧树脂等              |

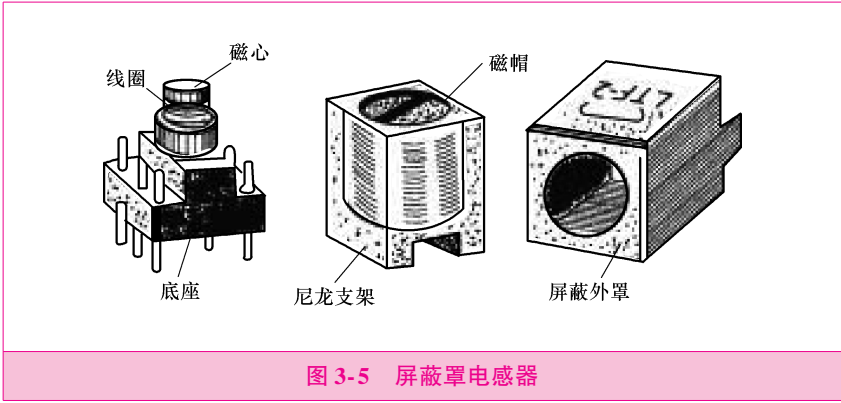


图 3-5 屏蔽罩电感器

根据不同的需要，有的电感器没有磁心，有的电感器没有屏蔽罩，有的电感器甚至连骨架也没有。

固定电感器为了减小体积，往往根据电感量和最大直流工作电流的大小，选用相应直径的导线在磁心上绕制，然后装入塑料外壳，用环氧树脂封装而成。一些固定电感器的结构如图 3-6 所示。

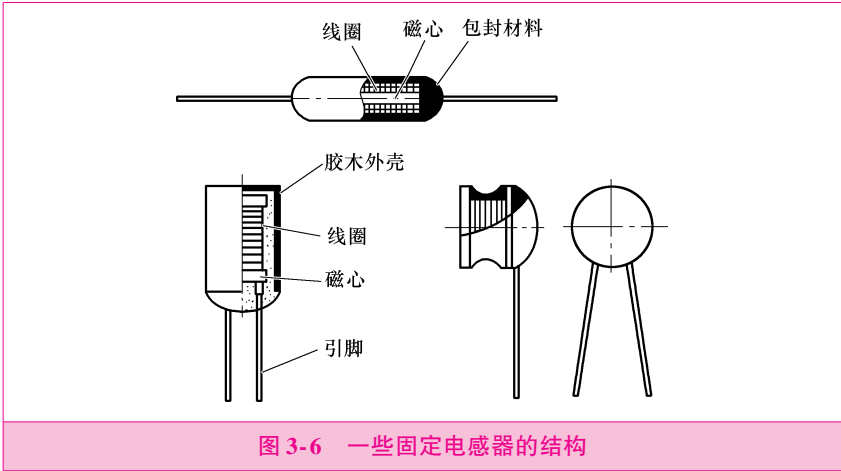
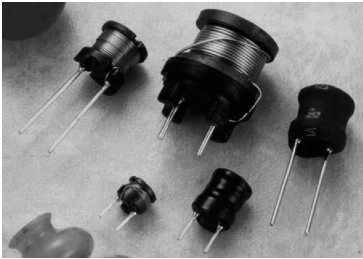
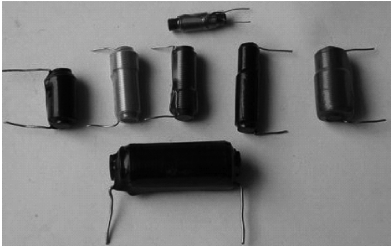
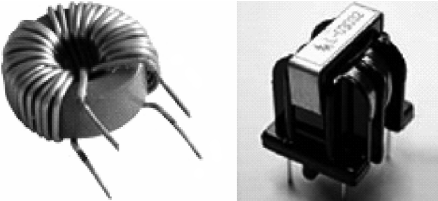
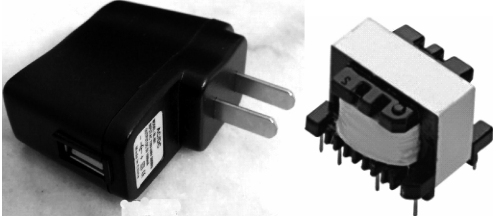
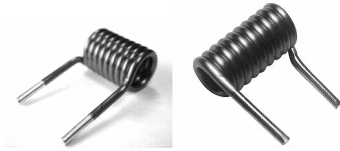


图 3-6 一些固定电感器的结构

5. 电感器的特性

给电感器通入电流，在它的四周就会产生磁场。**电感器的特性恰恰与电容器的特性相反，它具有阻止交流信号通过而让直流信号通过的特性。**利用这一特性，可制成满足特定需要的电感器。常用电感器的特性及用途见表 3-4。

表 3-4 电感器的特性及用途

| 名 称   | 特 性                                                | 用 途                                                      | 实 物 图                                                                                |
|-------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 工字形电感 | 存储效率高，损耗小，价格低                                      | 广泛应用于计算机、显示器、彩色电视机及各种电子设备中，用于微波消除、RF 滤波、输出扼流、EMI/RFI 滤波等 |    |
| 棒状电感器 | 棒状电感器也称棒状线圈，其输出电流大，价格低，结构坚实                        | 广泛用于各类电子电路和电子设备等，用于微波消除、输出扼流、EMI/RFI 滤波等                 |    |
| 滤波电感器 | 高效率，温升低，具有很好的饱和特性，抑制尖波能力强                          | 广泛用于开关电源的微波抑制，电子电路中的二极管恢复特性补偿                            |  |
| 电源变换器 | 滤波性能好，负载能力强，损耗小                                    | 广泛用于各种小型电子产品和开关电源电路中，作为交流-交流、交流-直流电源转换                   |  |
| 空心电感器 | 电感量较小。圈与圈之间紧靠着绕制线圈的方法称为“密绕法”；圈与圈之间留有间隔的绕制方法称为“间绕法” | 常用在高频电路中                                                 |  |

## 6. 电感器的电路符号

在电路图中，电感器用大写字母  $L$  表示。电感器的类型较多，图形符号如图 3-7 所示。

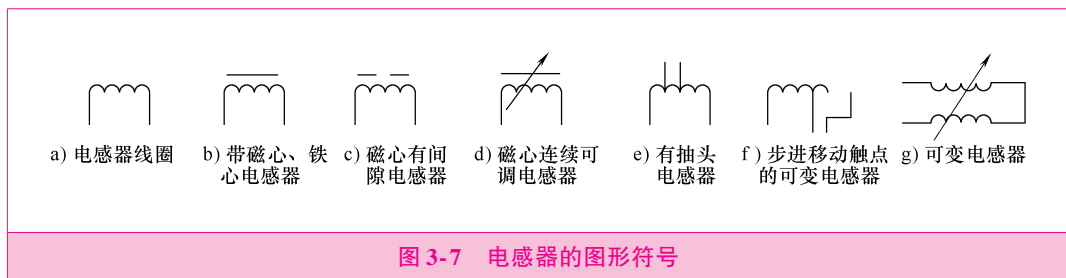


图 3-7 电感器的图形符号

## 7. 电感的单位

电感的单位是亨利，因纪念美国物理学家约瑟夫·亨利（1797—1878）而得名。亨利简称亨，用字母“H”表示。比亨小的单位是毫亨和微亨，分别用 mH 和  $\mu\text{H}$  表示。这三个单位的换算关系为

$$1\text{H} = 1000\text{mH}, 1\text{mH} = 1000\mu\text{H}$$

## 8. 影响电感量的因素

各种电感器电感量的大小与电感线圈的圈数（又称匝数）、线圈的截面积、线圈内部有没有铁心或磁心有很大的关系。如果在其他条件都相同的情况下，线圈圈数越多，电感量就越大；圈数相同，其他条件不变，那么线圈的截面积越大，电感量也越大；同一个线圈，插入铁心或磁心后，电感量比空心时明显地增加，而且插入的铁心或磁心质量越好，线圈的电感量就增加得越多。

通常，有铁心变压器的电感量可达几亨，而一般电感线圈的电感量只有几微亨到几毫亨。

## 9. 电感器的标注方法

### (1) 直标法

电感器一般都采用直标法，就是将标称电感量用数字直接标注在电感器的外壳上，同时还用字母表示电感器的额定电流，用数字表示允许偏差。

电感器的直标法很容易理解和识别，如图 3-8 所示。在标注偏差时，分别用 I、II、III 表示  $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。在标注额定电流时，用 A、B、C、D、E 分别表示 50mA、150mA、300mA、0.7A 和 1.6A。例如，某电感器外壳上标有 C、II、 $470\mu\text{H}$ ，表示电感器的电感量为  $470\mu\text{H}$ ，最大工作电流为 300mA，允许偏差为  $\pm 10\%$ 。

### (2) 文字符号标注法

电感器的文字符号标注法是用单位的文字符号表示，当单位为  $\mu\text{H}$  时，用 R 作为电感器的文字符号，其他与电阻器的标注相同。

如图 3-9 所示，分别是电感量为  $4.7\mu\text{H}$  和  $0.33\mu\text{H}$  的文字符号标注法。小型固定电感器一般均采用这种数字与符号直接表示其参数的方法。

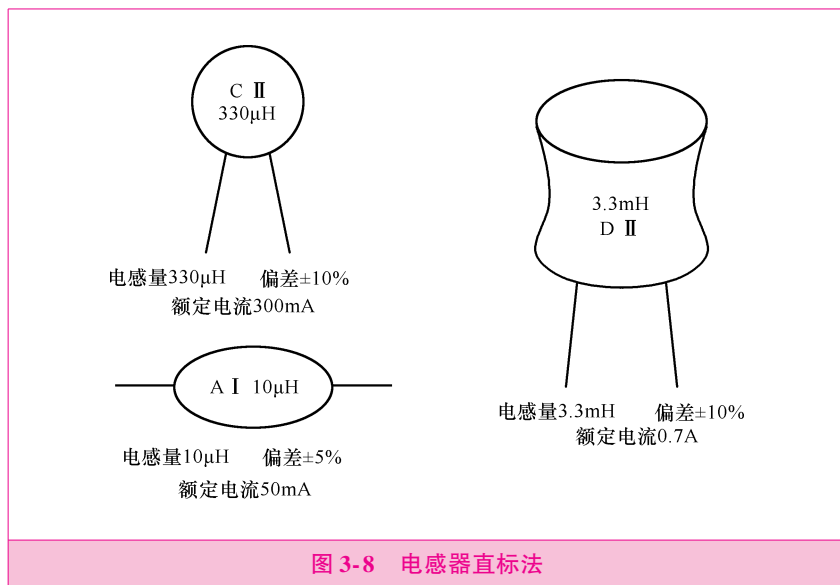


图 3-8 电感器直标法

### (3) 数码标注法

电感器的数码标注法与电阻器一样，前面的两位数为有效数，第三位数为零的个数或倍率，如图 3-10 所示。

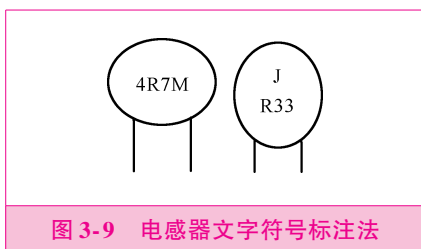


图 3-9 电感器文字符号标注法



图 3-10 电感器数码标注法

### (4) 色标法

色标法是采用色点或色环标在电感器上来表示电感量和偏差的方法。色码电感器采用色标法标注，其电感量和偏差标注方法同色环电阻器，单位为  $\mu\text{H}$ 。第一个色环表示第一位有效数字，第二个色环表示第二位有效数字，第三个色环表示倍率，第四个色环表示允许偏差。

图 3-11 所示的色码电感器上标注“红棕黑银”表示电感量为  $21\mu\text{H}$ ，允许偏差为  $\pm 10\%$ 。又如某电感器的色环依次为蓝、绿、红、银，表明此电感器的电感量为  $6500\mu\text{H}$ ，允许偏差

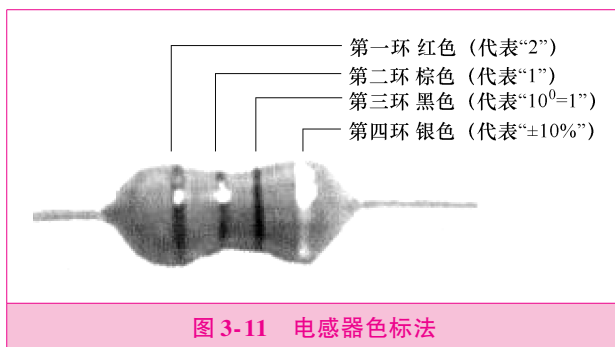


图 3-11 电感器色标法



为  $\pm 10\%$ 。

### 3.1.2 电感器的检测与应用

#### 1. 指针式万用表检测电感器

1) 万用表的档位置于  $R \times 1$  或者  $R \times 10$  档, 然后对万用表进行欧姆调零校正。

2) 万用表的两支表笔分别接触电感器的两个引脚。此时, 即会测得当前电感器的阻值。在正常情况下, 应能够测得一个固定的阻值, 如图 3-12 所示。

如果电感器的阻值趋于  $0\Omega$ , 则表明电感器内部存在短路的故障; 如果被测电感器的阻值趋于无穷大, 可重新选择最高阻值量程继续检测, 若阻值仍趋于无穷大, 则表明被测电感器已损坏。



图 3-12 指针式万用表检测滤波电感器

#### 【重要提醒】

好电感器的线圈应不松散、不变形, 引出端应固定牢固; 电感器损坏多表现为线圈发烫、发黑、烧黄或电感器磁环明显损坏。

用万用表  $R \times 10k$  档检测, 并进行调零; 测试线圈引线与磁心之间的绝缘电阻, 此值应趋于无穷大, 否则电感器绝缘不良。

#### 2. 数字万用表检测电感器

将数字万用表调到二极管档 (蜂鸣档), 把表笔放在两个引脚上, 看万用表显示器上的数值。对于贴片电感器, 此时的读数应趋近于 0, 如图 3-13 所示; 若万用表读数偏大或为 “1”, 则表示电感器损坏。

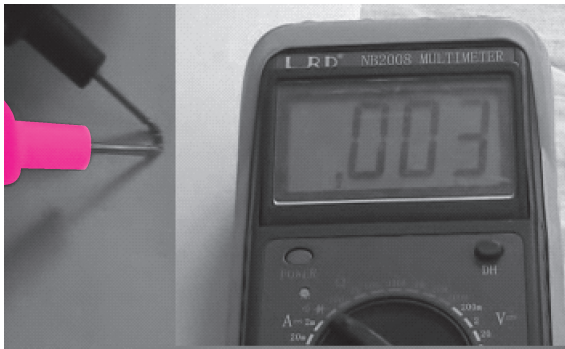


图 3-13 数字万用表检测贴片电感器

## 电感器检测口诀

检测电感诸参数，需要专门的仪器。  
一般判断好与坏，万用表测电阻值，  
阻值很大已断路，阻值很小是优异。  
因为电感电阻小，手碰引脚可不计。

## 【重要提醒】

准确测量电感器的电感量和品质因数，可以使用万能电桥或 Q 表。采用具有电感档的数字万用表检测电感器很方便。电感器是否开路或局部短路，以及电感量的相对大小可以用万用表作出粗略检测和判断。测量时，用手指接触线圈引脚对测量结果影响很小，可以忽略不计。

若电感器不是严重损坏，而又无法确定时，可用电感表测量其电感量或用替换法来判断。

## 3. 电感器参数的应用

## (1) 允许偏差

允许偏差是指电感器上标称的电感量与实际电感量的允许偏差值。一般用于振荡电路中的电感器要求精度较高，因为电感量的偏差将影响振荡器的振荡频率，因此要求允许偏差为  $\pm 0.2\% \sim \pm 0.5\%$ ；而用于耦合、高频阻流等电感器的精度要求不高，允许偏差为  $\pm 10\% \sim \pm 15\%$ 。

## (2) 品质因数

品质因数也称 Q 值或优值，是衡量电感器质量的主要参数。它是指电感器在某一频率的交流电压下工作时，所呈现的感抗与其等效损耗电阻之比。电感器的 Q 值越高，其损耗越小，效率越高。对于工作在高频电路中的电感器，品质因数的高低将影响所在电路的频率特性。

电感器品质因数的高低与线圈导线的直流电阻、线圈骨架的介质损耗及铁心、屏蔽罩等引起的损耗有关。

## (3) 分布电容

分布电容是指线圈的匝与匝之间、线圈与磁心之间存在的电容。电感器的分布电容越小，其稳定性越好。对于工作在高频电路中的电感器，分布电容的大小将影响所在电路的频率特性。

## (4) 额定电流

额定电流是指电感器在正常工作时允许通过的最大电流值。在工作电流比较大的电路中，则必须考虑电感器的额定电流参数，若工作电流超过额定电流，则电感器就会因发热而使性能参数发生改变，甚至还会因过电流而烧毁。

#### 4. 电感器的代换

电感器损坏后，原则上应使用与其性能类型相同、主要参数相同、外形尺寸相近的电感器来更换。若找不到同类型的电感器，也可以用其他类型的电感器来代换。

- 1) 电感量、额定电流相同，外形尺寸相近的可以直接代换。
- 2) 贴片电感器代换时只须大小相同即可，还可用  $0\Omega$  电阻或导线代换。
- 3) 小型固定电感器与色环电感器之间，只要电感量、额定电流相同，外形尺寸相近，可以直接代换。

#### 【重要提醒】

有抽头的电感器在安装时应注意接线正确，如果误接入高压电路，会烧坏线圈及其他元器件。

带屏蔽罩的线圈检修完后还应焊好屏蔽罩，另外还应特别注意，屏蔽罩与线圈不能短路，反之，整机不能工作。

#### 5. 电感器在电路中的应用实例

##### (1) 电感器在分频网络中的应用

图 3-14 所示是音响电路的分频电路。电感器  $L_1$  和  $L_2$  的线圈为空心密绕线圈，它们与  $C_1$ 、 $C_2$  组成分频网络，对高、低音进行分频，以改善放音效果。

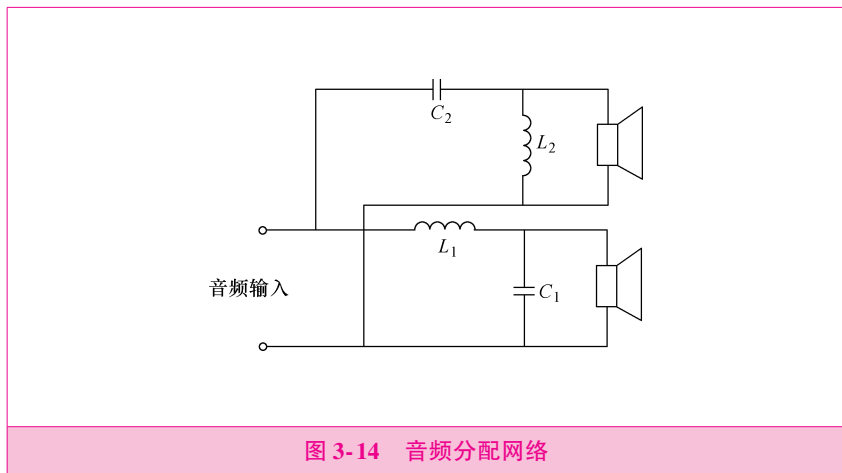


图 3-14 音频分配网络

##### (2) 电感器在收音机电路中的应用

图 3-15 所示是单管半导体收音机电路。其中  $VT_1$  为高频晶体管，它是用来进行信号放大的。 $L_1$  为天线线圈，它是在磁棒上用多股导线绕制而成的。 $L_1$  与  $C_1$ 、 $C_2$  组成并联谐振电路，对磁棒天线接收到的无线电信号进行选频，选出的信号由  $L_1$  感应到  $L_2$ ，由  $VT_1$  进行放大，放大后的信号送到  $L_3$ ， $L_3$  为固定电感器，它的电感量为  $3\text{mH}$ ，其作用是利用感抗阻止高频信号进入耳机，而仅让音频信号通过，从而使我们可以听到电台的播音。

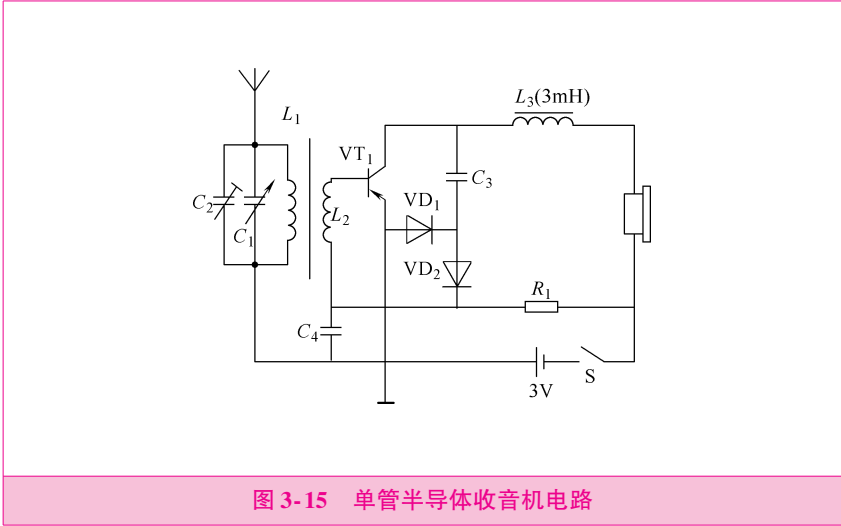


图 3-15 单管半导体收音机电路

(3) 电感器在滤波电路中的应用

滤波电路的原理实际是  $L$ 、 $C$  元件基本特性的组合利用。不同滤波电路会对某种频率信号呈现很小或很大的电抗，以致能让该频率信号顺利通过或阻碍它通过，从而起到选取某种频率信号和滤除某种频率信号的作用。

图 3-16a 所示为**低通滤波电路**，当有信号从左至右传输时， $L$  对低频信号阻碍小，对高频信号阻碍大； $C$  则对低频信号衰减小，对高频信号衰减大。因此该滤波电路容易通过低频信号，所以称为低通滤波电路。

图 3-16b 所示为**高通滤波电路**，容易通过高频信号，所以称为高通滤波电路。

图 3-16c 所示为**带通滤波电路**，它利用  $C_1$  和  $L_1$  串联对谐振信号阻抗小、 $C_2$  和  $L_2$  并联对谐振信号阻抗大的特性，能让谐振信号  $f$  容易通过，而阻碍其他频率信号通过，所以称为带通滤波电路。

图 3-16d 所示为**带阻滤波电路**，它利用  $C_1$  和  $L_1$  并联对谐振信号阻抗大、 $C_2$  和  $L_2$  串联对谐振信号阻抗小的特点，容易让谐振频率以外的信号通过，而抑制谐振信号通过，所以称为带阻滤波电路。

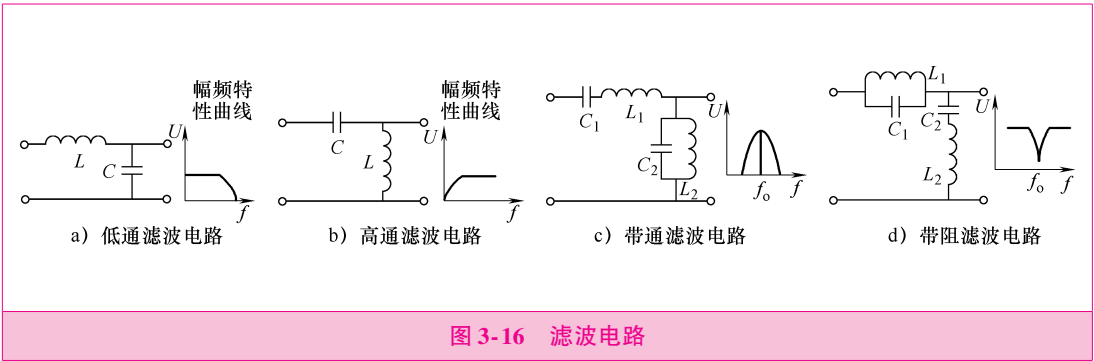


图 3-16 滤波电路

## 3.2 变压器

### 3.2.1 变压器简介

#### 1. 变压器的功能

变压器是利用电磁感应的原理来改变交流电压的装置，在不同的应用环境下，变压器有不同的作用。

在电力系统中，变压器用于电力传输及变换；在电子电路中，变压器主要用来提升或降低交流电压，或者变换阻抗等。具体来说，变压器的功能如下：

- 1) 用来改变交流电压，这是变压器名称的由来。
- 2) 变压器在改变电压的同时，不改变功率（不考虑损耗时），所以在电压改变时必然使电流改变，也即改变了阻抗。所以在电子技术上，变压器用来作阻抗匹配用。
- 3) 放大器的级间耦合，除了阻容耦合、直接耦合外，还有变压器耦合，既能改变阻抗，又能隔除直流。只是变压器的体积大，频率特性差，现在用得很少。
- 4) 在振荡电路中，除了阻容、阻容移相振荡器外，更多应用的是变压器耦合振荡电路。这里变压器除了完成耦合以外，一次绕组的电感与外接电容器构成具有选频作用的谐振回路。

#### 【重要提醒】

在电器设备和无线电路中，变压器的功能主要有：**电压变换、电流变换、阻抗变换、安全隔离、稳压（磁饱和变压器）**等。

#### 2. 变压器的外形特征

变压器与其他元器件在外形特征上有明显的不同，所以在电路板上很容易识别。图 3-17 所示为常用变压器的实物图。各种类型变压器都有它自己的外形特征。

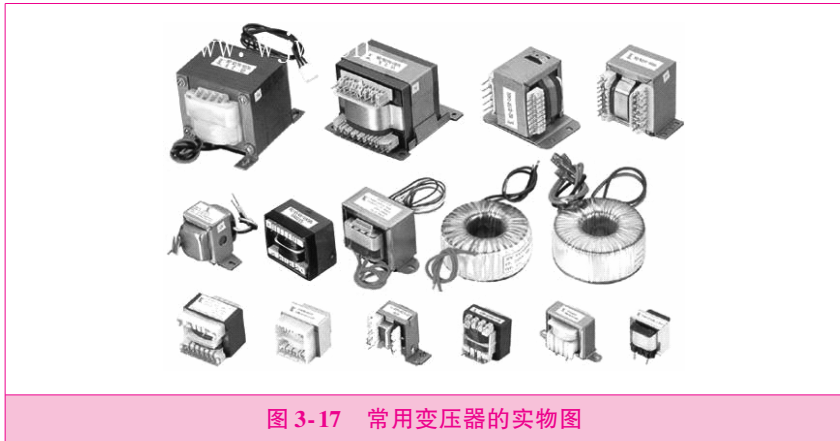


图 3-17 常用变压器的实物图

1) 变压器通常有一个外壳，有的是金属外壳，但有些变压器没有外壳，形状也不一定是长方体。

2) 变压器引脚有许多，最少有三根，多的达十多根，各引脚之间一般不能互换使用。

3) 各种类型变压器都有它自己的外形特征，例如开关电源变压器有一个明显的环形屏蔽带。

3. 变压器的种类

变压器的种类很多，它们的基本结构相近。表 3-5 为变压器的分类。

表 3-5 变压器的分类

| 序 号 | 分 类 方 法   | 种 类                                                                                                                             |
|-----|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 按用途不同分类   | 电力变压器（如升压变压器、降压变压器、配电变压器、联络变压器、厂用或所用变压器）、仪用变压器（如电流互感器、电压互感器）、电炉变压器（如炼钢炉变压器、电压炉变压器、感应炉变压器）、试验变压器、整流变压器、调压变压器、矿用变压器（防爆变压器）以及其他变压器 |
| 2   | 按相数不同分类   | 单相变压器（用于单相负载或三相变压器组）、三相变压器（用于三相负载）和多相变压器                                                                                        |
| 3   | 按工作频率不同分类 | 高频变压器和低频变压器                                                                                                                     |
| 4   | 按铁心结构不同分类 | 心式变压器（插片铁心、C 形铁心、铁氧体铁心）、壳式变压器（插片铁心、C 形铁心、铁氧体铁心）、环形变压器及金属箔变压器                                                                    |

4. 小型变压器的结构

小型变压器主要由铁心、骨架、绕组（一次绕组和二次绕组）、绝缘物及紧固件等组成，如图 3-18 所示，其解剖结构示意图如图 3-19 所示。

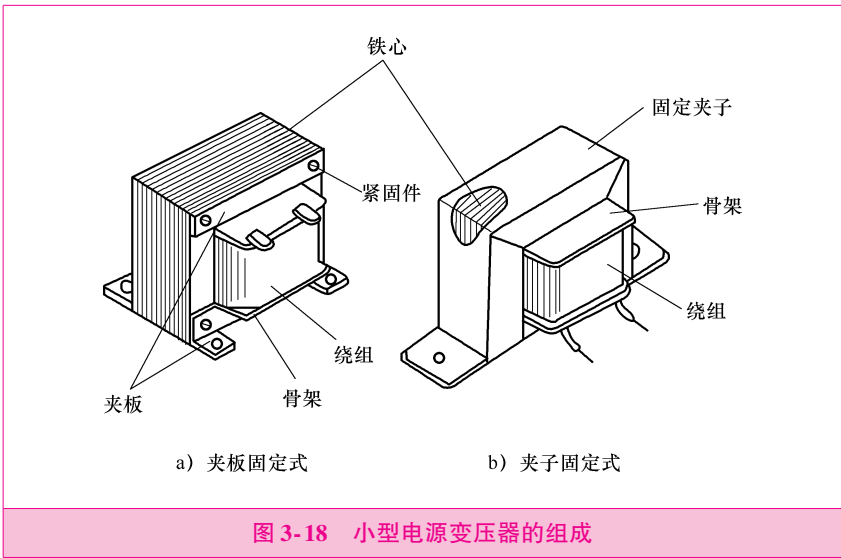
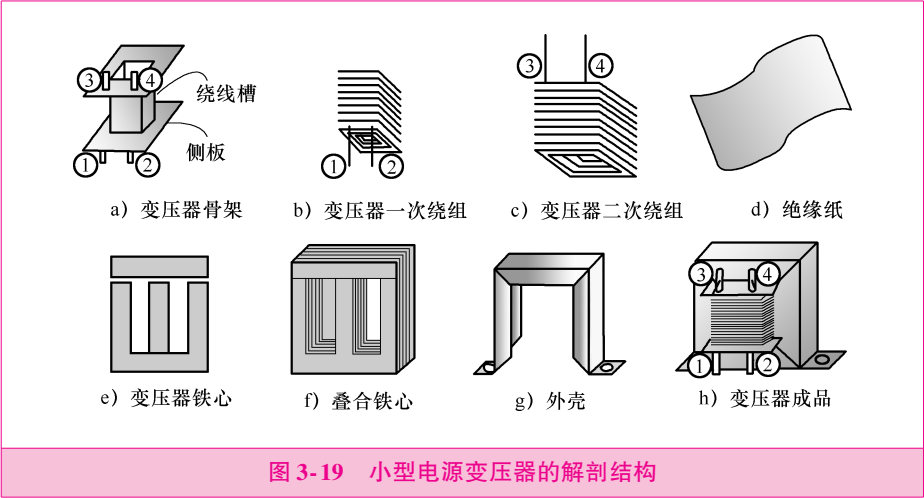
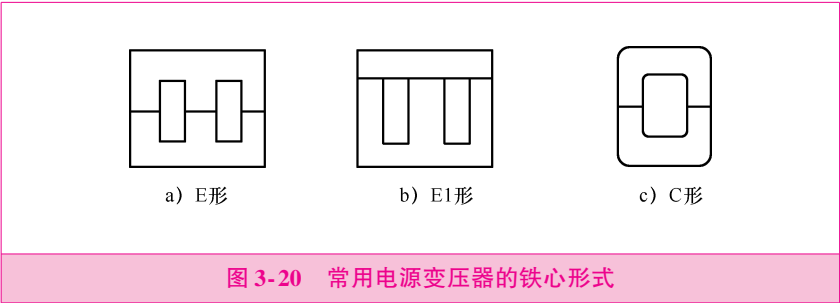


图 3-18 小型电源变压器的组成



(1) 铁心

铁心的作用是构成磁路。小型电源变压器铁心常见的有 E 形、E1 形、C 形等，如图 3-20 所示。E 形和 E1 形铁心是以硅钢片冲制而成的，而 C 形铁心则是用冷轧硅钢带卷制而成的。



E 形和 E1 形铁心是目前使用得最多的铁心，它的主要优点是绕组的一、二次可共用一个骨架，有较高的窗口占空系数。铁心可对绕组形成保护外壳，使绕组不易受机械创伤。但存在着铜线多、漏感大和外来磁场干扰大的缺点。

C 形铁心的制造过程是，冷轧硅钢带卷绕成形后，经热处理、浸渍等工艺制成封闭铁心，然后把封闭铁心切开，形成两个 C 形铁心，将线包套入后，再把一对 C 形铁心拼在一起，并紧固捆扎在一起而构成变压器。C 形铁心的气隙可以做得很小，具有体积小、重量轻、材料利用率高等优点。

(2) 骨架

图 3-19a 所示是变压器的塑料骨架，上下侧板间构成一个绕线槽，两个绕组都绕在这个槽内。骨架正中制有方形穿心孔，用于插入铁心。在骨架侧板上，预制有金属引脚，绕组的端头就焊接在相应的引脚上。

骨架的结构还有两槽或更多槽形式，以便将不同绕组绕入不同槽内，加强绕组间的绝



缘强度，但侧板过多会占用绕制绕组的空间。实际中，还有一种骨架两端没有侧板，需将骨架夹在模具中绕制绕组，然后浸绝缘漆烘干定型。这种骨架因没有侧板，能多绕一些线圈，缩小变压器体积。

制造骨架的材料有多种，还可用胶纸板、胶布板、胶木化纤维板、胶木板、环氧胶木板、酚醛胶木板等。

### （3）绕组

**绕组的作用是构成电路。**小功率电源变压器的绕组一般都采用**漆包线绕制**，因为它有良好的绝缘，占用体积较小，价格也便宜。对于低压大电流的绕组，有时也采用**纱包粗铜线绕制**。

绕组绕制的顺序通常是一**次绕组绕在线包的里面，然后再绕制二次绕组**。为了避免干扰电压经变压器窜入无线电设备，在变压器的一、二次间还加有静电屏蔽层，以消除一、二次绕组间的分布电容引入的干扰电压。

60

为了使变压器有足够的绝缘强度，绕组各层间均垫有薄的绝缘材料，如电容器纸、黄蜡绸等。在某些需要高绝缘的场合，还可使用聚酯薄膜和聚四氟乙烯薄膜等。

为了便于散热，**绕组和窗口之间应留有一定空隙**，一般为  $1 \sim 3\text{mm}$ ，但也不能过大，以免使变压器的损耗增大。绕组的引出线，一般采用多股绝缘软线。对于粗导线绕制的绕组，可使用绕组本身的导线作为引出线，外面再加绝缘套管。

### 【重要提醒】

铁心装入绕组后，必须将铁心夹紧并予以固定。常用的固定方法是用夹板条夹紧螺钉固定。对于数瓦的小功率变压器，则可使用夹子固定。

## 5. 变压器的工作原理

变压器是变换交流电压、交变电流和阻抗的器件。最简单的变压器原理图如图 3-21 所示，当一次绕组中通有交流电压（电流）时，铁心（或磁心）中便产生交流磁通，使二次绕组中感应出频率相同的电压（或电流）。一、二次绕组感应电动势的大小与绕组匝数成正比，故只要改变一、二次绕组的匝数，就可达到改变电压的目的，这就是变压器的基本工作原理。

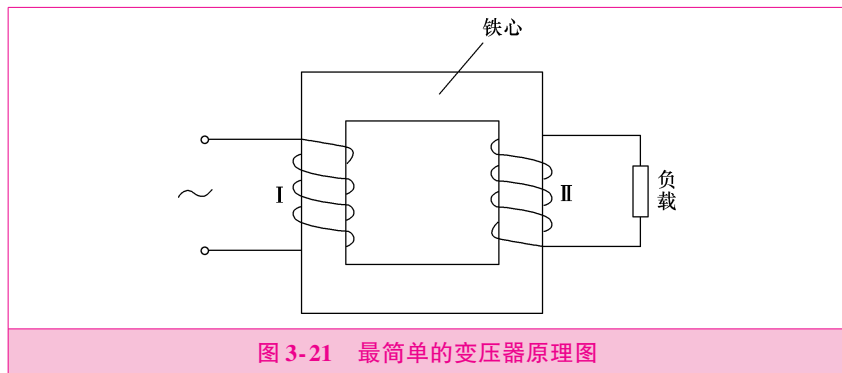


图 3-21 最简单的变压器原理图

6. 变压器的主要技术参数

变压器的主要技术数据一般都直接标注在变压器的铭牌上。变压器主要技术参数的含义见表 3-6。

表 3-6 变压器主要技术参数的含义

| 序 号 | 主 要 参 数 | 含 义                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 额定功率    | 在规定的频率和电压下，变压器能长期工作而不超过规定温升的输出功率                                                                                                                                                                                                                              |
| 2   | 额定电压    | 指在变压器的绕组上所允许施加的电压，工作时不得大于规定值                                                                                                                                                                                                                                  |
| 3   | 空载电流    | 变压器二次侧开路时，二次侧仍有一定的电流，这部分电流称为空载电流。空载电流由磁化电流（产生磁通）和铁损电流（由铁心损耗引起）组成。对于 50Hz 电源变压器而言，空载电流基本上是磁化电流                                                                                                                                                                 |
| 4   | 额定容量    | 指变压器在额定工作条件下的输出能力。对于大功率变压器，可用二次绕组的额定电压与额定电流的乘积来表示。对于小功率电源变压器而言，由于工作情况不同，一、二次的容量应分别计算                                                                                                                                                                          |
| 5   | 空载损耗    | 指变压器二次侧开路时，在二次侧测得的功率损耗。主要损耗是铁心损耗，其次是空载电流在二次绕组铜阻上产生的损耗（铜损），这部分损耗很小                                                                                                                                                                                             |
| 6   | 绝缘电阻    | 表示变压器各绕组之间、各绕组与铁心之间的绝缘性能。绝缘电阻的高低与所使用的绝缘材料的性能、温度高低和湿润程度有关                                                                                                                                                                                                      |
| 7   | 电压比     | <p>变压器一、二次绕组圈数分别为 <math>N_1</math> 和 <math>N_2</math>，在一次绕组上加一交流电压，在二次绕组两端就会产生感应电动势。<math>N_1/N_2</math> 称为电压比，用 <math>k</math> 表示。</p> <p>当 <math>k &gt; 1</math> 时，这种变压器为升压变压器；当 <math>k &lt; 1</math> 时，这种变压器为降压变压器；当 <math>k = 1</math> 时，这种变压器为隔离变压器</p> |

3.2.2 变压器的检测及故障处理

1. 中周变压器好坏的检测

(1) 绕组通断的检测

将万用表置于  $R \times 1$  档，按照中周变压器各绕组引脚的排列规律，逐一检查各绕组的通断情况，进而判断其是否正常，如图 3-22 所示。

(2) 绝缘性能的检测

将万用表置于  $R \times 10k$  档，进行以下几种状态的检测：

- 1) 检测一次绕组与二次绕组之间的电阻值。
- 2) 一次绕组与外壳之间的电阻值。

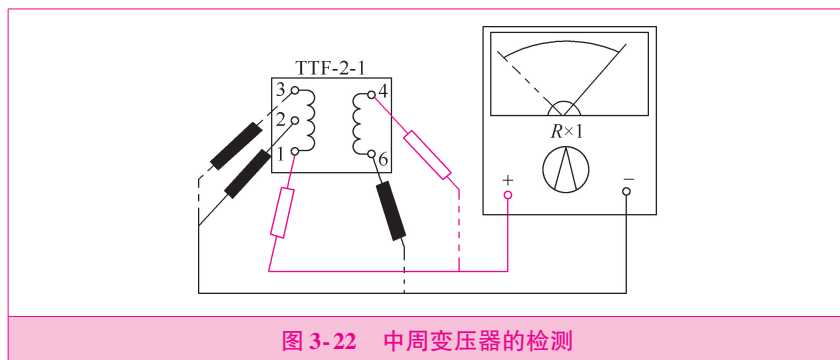


图 3-22 中周变压器的检测

3) 二次绕组与外壳之间的电阻值。

上述测量结果有三种情况：如果检测的阻值为无穷大，则变压器正常；如果阻值为零，则变压器有短路性故障；如果阻值小于无穷大，但大于零，则变压器有漏电性故障。

## 2. 电源变压器好坏的检测

首先从外观上观察，看变压器是否有烧焦发黑、变形。在熔断器失效的情况下，损坏的变压器往往从外观上就可看出来。

### (1) 电压法检测

在加电情况下，用万用表交流电压档测量变压器二次交流电压。若测得为零，再测变压器一次电压，若有 220V 电压，表明变压器有故障。

### (2) 电阻法检测

用万用表  $R \times 100$  或者  $R \times 1k$  档分别测量变压器一次和二次绕组的电阻值。一次绕组电阻一般在  $50 \sim 150\Omega$  之间，二次绕组电阻一般小于几欧，如图 3-23a 所示。如果阻值过大，表明变压器有故障。

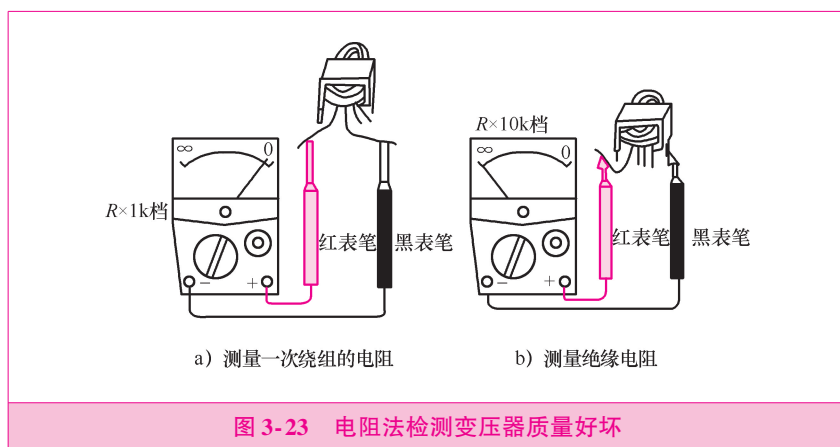


图 3-23 电阻法检测变压器质量好坏

没有绝缘电阻表的情况下也可以用万用表  $R \times 10k$  档测量变压器的绝缘电阻，一支表笔接变压器外壳，另一支表笔分别接触各绕组的一根引线，如图 3-23b 所示，指针应该都不偏转。如果某次测量时指针有偏转，说明这一绕组与外壳之间绝缘不良。然后，一支表

笔接一次绕组任一根引线，另一支表笔接二次绕组任一根引线，此时指针也应该不偏转，否则是一次和二次绕组之间绝缘不良。

(3) 温升检测法

给变压器通电 10min 左右，断电后用手接触变压器外壳，如果热到手指不能接触变压器外壳的程度时，说明变压器已有问题。

【重要提醒】

检测温升时，要断电。

3. 变压器的常见故障

不同的变压器由于结构和工作状态等不同，会出现不同的故障现象和故障原因，但是变压器的基本故障现象是相同的。变压器常见故障见表 3-7。

表 3-7 变压器常见故障

| 故障现象     | 说明                                                                                                                                                  |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 绕组开路     | 1) 无论是一次绕组还是二次绕组开路，变压器二次侧均无电压输出。<br>2) 降压变压器一次绕组的线径比二次绕组的线径细，一次绕组比较容易断；升压变压器二次绕组线径比一次绕组的线径细，所以二次绕组比较容易断。<br>3) 在绕组的头、尾，引线处比较容易折断。对于电源变压器更容易出现绕组开路故障 |
| 绕组内部匝间短路 | 1) 绕组内部匝间短路一般是由变压器绕组绝缘不良造成的，电源变压器和一些工作电压比较高的变压器中容易出现这一故障。<br>2) 一次绕组出现局部短路故障时，二次侧的输出电压将增大；当二次绕组出现局部短路故障时，二次侧的输出电压将下降                                |
| 漏电       | 线圈与铁心之间的绝缘损坏，会使变压器的外壳带电，这是很危险的                                                                                                                      |
| 温升异常     | 主要出现在电源变压器和工作电压比较高、输出功率比较大的变压器中。变压器正常工作时有一定温升是正常的，但是温度达到很烫手的程度则不正常                                                                                  |
| 电磁声大     | 变压器在正常工作时不应听到有什么响声，有响声说明变压器铁心没有固定紧，或者变压器有过载现象                                                                                                       |
| 绕组受潮     | 这种故障主要出现在中频、高频变压器中，绕组受潮将引起 $Q$ 值下降                                                                                                                  |

4. 故障变压器的处理

变压器损坏后，一般只能更换。但有一些故障是可以检修的。

1) 部分电源变压器内有温度熔断器，如断路，则一次绕组不通，变压器不工作。对有内置温度熔断器的变压器，可仔细拆开绕组外的保护层，找到温度熔断器，直接连通温度熔断器的两个引脚。这可作为应急使用。

2) 引线头断故障，可以重新焊好。

3) 变压器铁心松而引起的响声故障。可以再插入几片铁心，或将铁心固定紧（拧紧固定螺钉）。

### 【重要提醒】

电源变压器常见故障有短路、断路、绝缘不良引起的漏电等。当变压器出现故障时，应及时检查更换。尤其是电源变压器出现焦糊味、冒烟、输出电压降低且温升很快时，应切断电源，找出故障所在。

## 3.2.3 变压器的代换

### 1. 电源变压器的代换

对于电源变压器代换，主要应遵循以下原则：

- 1) 主要参数相同，有的可十分相近。例如，二次输出电压大小相等，绕组的结构要相同，额定功率参数可以相近，只要等于或者大于原变压器的额定功率参数即可。
- 2) 装配尺寸相符或者相近，必要时对变压器加以修整，以便可以安装。

### 2. 音频变压器的代换

对于音频变压器，主要应选择频率响应参数。因为这一参数达不到要求时，整个放大系统的频率响应指标就达不到设计要求。

### 3. 中频变压器的代换

当中频变压器损坏后，最好选用同型号、同规格的中频变压器进行更换，否则很难正常工作。在选择时，还应对其绕组进行检测，看是否有断线或短路（绕组与屏蔽罩之间相碰）。

中频变压器均有固定的谐振频率，一般不能随便互换。调幅收音机的中频变压器与调频收音机的中频变压器、电视机的中频变压器之间不能互换使用，电视机中伴音中频变压器与图像中频变压器之间也不能互换使用。

如果收音机中某只中频变压器损坏，但无同型号中频变压器可用于更换，则只能用其他型号的整套中频变压器（一般为三只）代换该机的整套中频变压器。

# 第4章

## 二极管和晶体管

### 4.1 二极管

#### 4.1.1 二极管简介

##### 1. 常用二极管的外形

二极管又称为半导体二极管，其封装形式分为**引线型**和**表面安装型（贴片式）**两种封装形式。

二极管引线封装形式有**玻璃封装、金属封装和塑料封装**。小功率二极管一般采用塑料封装或者玻璃封装；大功率二极管多采用金属封装，并且有个螺母以便固定在散热器上。

二极管的类型很多，各类型的外形差异大，常用二极管的外形如图 4-1 所示。

肖特基二极管有单管式（两根引脚）和对管式（双二极管，三根引脚）两种封装形式，如图 4-2 所示。单管中，标有色环的一端为负极。双管中，型号正面对着自己时，从左向右依次是 1、2、3 脚。

##### 2. 二极管的基本结构

二极管是由一个 **PN 结**加上相应的**电极引线和密封壳**做成的半导体器件，二极管的基本结构如图 4-3 所示。

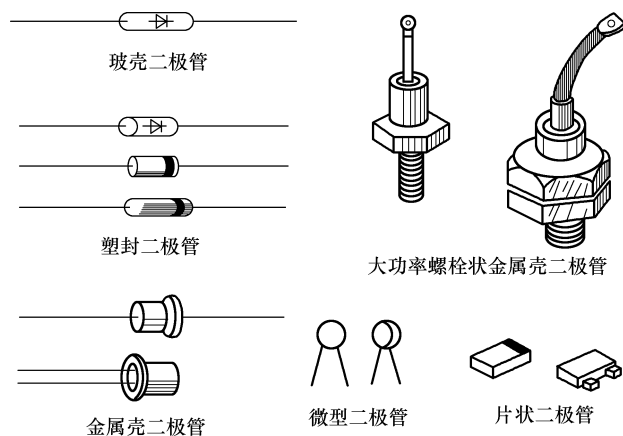


图 4-1 常用二极管的外形

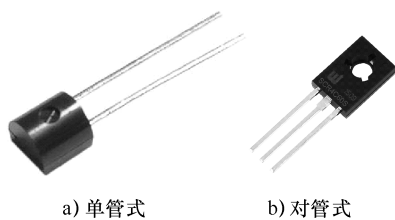


图 4-2 肖特基二极管

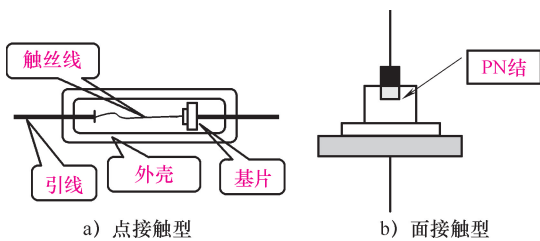


图 4-3 二极管的基本结构

### 【重要提醒】

点接触型二极管由于接触面点小，不能通过大电流，故只适合用于小电流整流；又因为接触点小，所以极间电容量也很小，故适用于高频电路检波。

面接触型二极管与点接触型二极管相反，由于接触面大，可以通过较大的电流，但极间电容量大，因此不能用于高频电路，而主要用作整流。

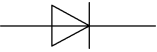
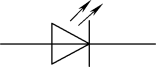
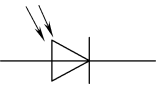
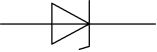


3. 二极管的电路符号

二极管的文字符号用字母“VD”表示。近年来发光二极管在照明上得到较广泛应用，通常用文字符号“LED”表示，以区别于其他二极管。

由于二极管的种类较多，故在电路图中不同类型的二极管采用了不同的图形符号，我们在看图时要注意区分。常用二极管的图形符号见表4-1。

表 4-1 常用二极管图形符号说明

| 类 型              | 图 形 符 号                                                                             | 说 明                                                                                         |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 普通二极管            |    | 通过三角形表明了正极和负极的引脚。三角尖加竖线端的引脚为负极，三角形底部端的引脚为正极。三角形所指的方向很形象地表征了电流在二极管中的流动方向，即电流从正极流到负极，反过来就流不过去 |
| 发光二极管            |    | 通过三角形表明了正极和负极的引脚。三角尖加竖线端的引脚为负极，三角形底部端的引脚为正极。箭头表示能够向外部发光                                     |
| 接收二极管<br>(光敏二极管) |    | 通过三角形表明了正极和负极的引脚。三角尖加竖线端的引脚为负极，三角形底部端的引脚为正极。箭头表示外部光线能够被二极管接收                                |
| 稳压二极管            |  | 通过三角形表明了正极和负极的引脚。与普通二极管比较，负极表示的方法不同                                                         |

4. 二极管的重要参数

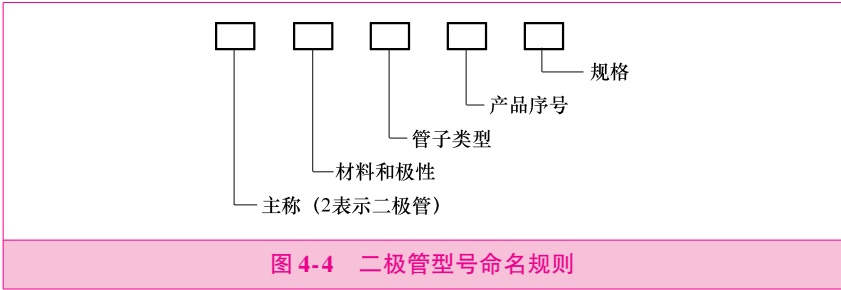
下面介绍二极管的几种重要参数，见表4-2。我们在电子小制作使用二极管时，必须考虑这几个参数。

表 4-2 二极管的重要参数

| 序 号 | 使 用 参 数  | 说 明                                                                             |
|-----|----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 最大整流电流   | 指二极管正常工作时所允许流过的最大工作电流，超过这个电流，二极管就有被烧坏的可能                                        |
| 2   | 最大反向工作电压 | 当二极管两端加上反向电压以后就会截止。当反向电压大到一定值时，二极管就会被反向击穿或损坏                                    |
| 3   | 反向电流     | 指给二极管加上规定的反向偏置电压情况下，通过二极管的反向电流值，该值反映了二极管单向导电性能<br>正常情况下，二极管的反向电流较小，而且越小越好       |
| 4   | 最高工作频率   | 各个二极管能在交流电路中正常工作的最高信号频率，这个频率的高低决定了二极管的使用范围。在其他参数基本一致的情况下，高频管可以代替低频管，但低频管不能代替高频管 |

5. 二极管的型号命名

二极管的型号命名分为五个部分（也可省掉第五部分），如图 4-4 所示。



第一部分：国产二极管用数字“2”表示主称为二极管。国外的有用“1”代表二极管，“2”代表晶体管。

第二部分：用字母表示二极管的材料与极性（A—锗 N 型，B—锗 P 型，C—硅 N 型，D—硅 P 型）。

第三部分：用字母表示二极管的类别（P—普通型，V—混频检波管，W—稳压管，Z—整流管，L—整流堆，S—隧道管，N—阻尼管，U—光敏管）。

第四部分：用数字表示序号。

第五部分：用字母表示二极管的规格号。

例如，二极管的型号为 2AP9，其中，“2”表示二极管，“A”表示 N 型锗材料，“P”表示普通型，“9”表示序号。

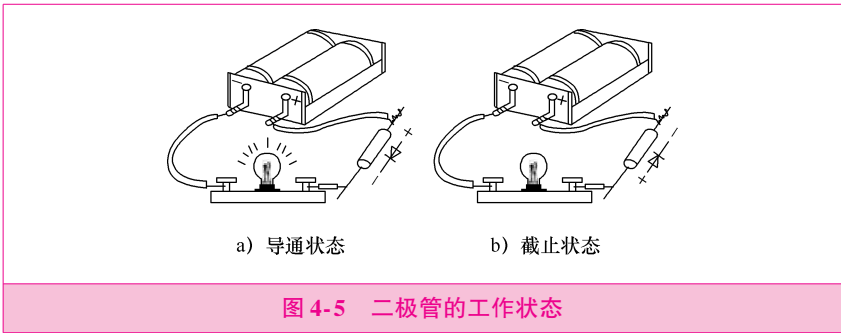
目前使用较多的国外二极管，凡型号以“1N”开头的二极管是采用的美国命名法，如 1N4007；以“1S”开头的是采用的日本命名法，如 1S1885。

6. 二极管的工作状态

二极管有导通和截止两种工作状态，二极管导通和截止需要一定的工作条件。二极管具有单向导电的特性。

(1) 二极管导通的条件

给二极管正极加的电压高于负极电压达到一定的值（对于硅二极管而言为 0.6V，对于锗二极管而言为 0.2V），二极管便导通。导通后二极管相当于一个导体，二极管的两个引脚之间的电阻很小，相当于接通。如图 4-5a 所示，二极管导通，灯泡发光了。



(2) 二极管截止的条件

如果给二极管正极加的电压低于负极电压（一般称为反向电压），二极管处于截止状态，二极管的两个引脚之间的电阻很大，相当于开路。如图 4-5b 所示，二极管处于截止状态，灯泡不亮。如果加的反向电压太大，二极管会被击穿损坏。

7. 二极管的种类

二极管的种类很多，一般有三种分类方法，见表 4-3。

表 4-3 二极管家族成员扫描

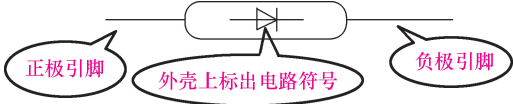
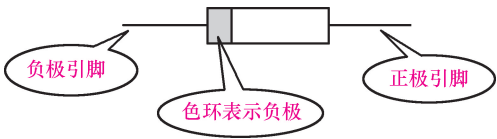
| 划分方法及种类 |         | 说 明                               |
|---------|---------|-----------------------------------|
| 按材料分    | 锗管      | 锗材料二极管                            |
|         | 硅管      | 硅材料二极管，常用的二极管                     |
| 按功能及原理分 | 普通二极管   | 常用的二极管                            |
|         | 整流二极管   | 专门用于整流的二极管                        |
|         | 发光二极管   | 能够发出可见光，专门用于指示信号；近年来的新型发光二极管可用于照明 |
|         | 稳压二极管   | 专门用于直流稳压的二极管                      |
|         | 光敏二极管   | 对光有敏感作用的二极管                       |
| 按封装材料分  | 塑料封装二极管 | 中小功率的二极管基本上采用这种封装材料               |
|         | 金属封装二极管 | 大功率的二极管基本上采用这种封装材料                |
|         | 玻璃封装二极管 | 检波二极管等采用这种封装材料                    |

8. 二极管的引脚识别

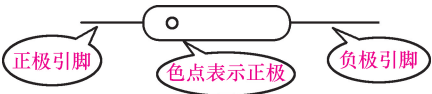
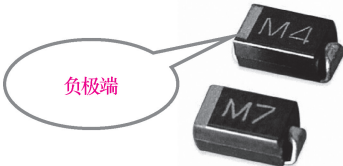
绝大多数二极管有两个引脚，其中一个引脚为**正极**，又称为**阳极**；另一个引脚为**负极**，又称为**阴极**。

二极管引脚的标注方法见表 4-4。

表 4-4 二极管引脚的标注方法

| 标注方法  | 标记说明                                   | 图 示                                                                                  |
|-------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 直标法   | 在二极管的外壳上直接印有二极管的电路符号和型号，根据电路符号判断二极管的极性 |  |
| 色环标注法 | 在二极管的负极用一条银色环标志                        |  |

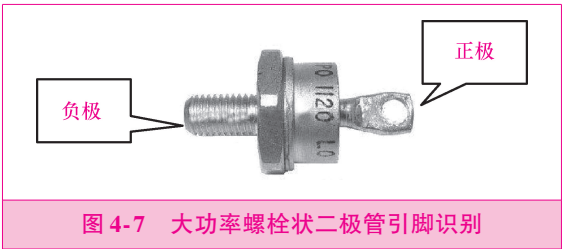
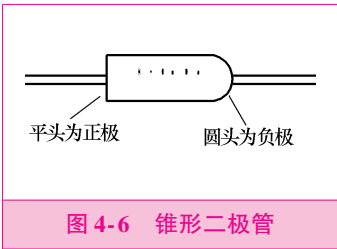
(续)

| 标注方法       | 标记说明                                   | 图 示                                                                                |
|------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 色点标注法      | 在二极管外壳的一端标出一个色点，有色点的一端表示二极管的正极，另一端则为负极 |  |
| 贴片二极管极性标注法 | 在一端用一条灰杠表示负极                           |  |

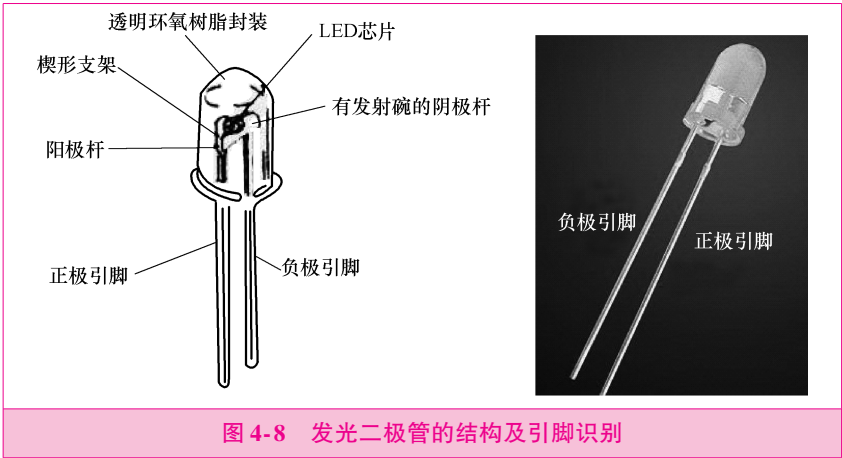
下面介绍从外形上直接辨认几种比较特殊的二极管引脚的方法。

- 70
- 1) 有的二极管两端形状不同，圆头端引脚为负极，平头端引脚为正极，如图 4-6 所示。

2) 大功率螺栓状二极管有螺纹一端为负极，如图 4-7 所示。



- 3) 发光二极管有两个引脚，一般长引脚为正极，短引脚为负极。发光二极管的管体呈透明状，故管壳内的电极清晰可见，内部电极较宽较大的一个为负极，而较窄较小的一个为正极，如图 4-8 所示。



4) 红外线遥控器在家用电器和工业控制系统中已得到广泛应用。常见的红外线接收二极管外观颜色呈黑色。识别引脚时，面对受光视窗，从左至右，分别为正极和负极。另外，在红外线接收二极管的管体顶端有一个小斜切平面，通常带此斜切平面一端的引脚为负极，另一端为正极，如图 4-9 所示。

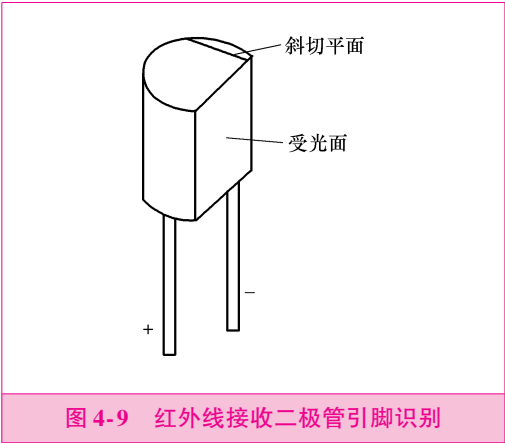


图 4-9 红外线接收二极管引脚识别

4.1.2 常用二极管及应用

1. 整流二极管

我们把交流电流变成脉动的直流电流的过程称为整流，把具有整流功能的二极管称为整流二极管，图 4-10 所示为整流二极管及其整流电路。

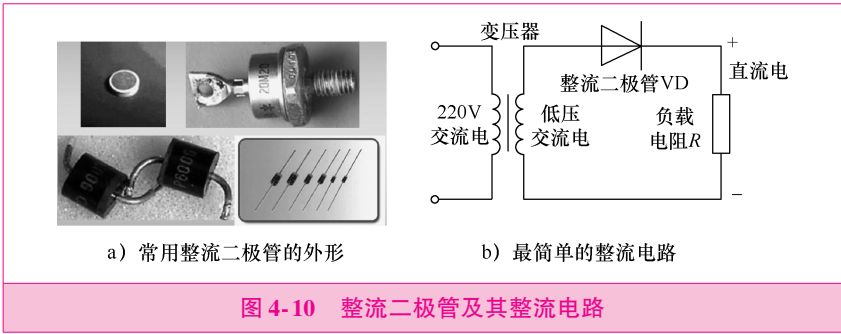


图 4-10 整流二极管及其整流电路

整流二极管一般为面接触型二极管，其特点是，工作频率低、允许通过的正向电流大、反向击穿电压高、允许的工作温度高，但工作频率较低。

整流二极管不仅有硅管和锗管之分，而且还有低频和高频、大功率和小（中）功率之分。硅管具有良好的温度特性及耐压性能，故在现在的电子装置中应用远比锗管多。选用整流二极管时，若无特殊需要，一般以选硅整流二极管为宜。

通常，正向电流在 1A 以上的二极管采用金属壳封装，以利于散热；正向电流在 1A 以下的采用全塑料封装。

国产的整流二极管的型号有 2DZ 系列等；常用的进口整流二极管有 1N 系列等。

【重要提醒】

整流二极管损坏后，可以用同型号的整流二极管或参数相近的其他型号整流二极管代换。通常，高耐压值（反向电压）的整流二极管可以代换低耐压值的整流二极管，而低耐压值的整流二极管不能代换高耐压值的整流二极管。整流电流值高的二极管可以代换整流电流值低二极管，而整流电流值低二极管则不能代换整流电流值高的二极管。

2. 稳压二极管

稳压二极管又叫齐纳二极管，是由硅材料制成的面接触型二极管，它是利用 PN 结反向击穿时的电压基本上不随电流的变化而变化的特点，来达到稳压的目的，因为它能在电路中起稳压作用，故称为稳压二极管（简称稳压管），如图 4-11 所示。

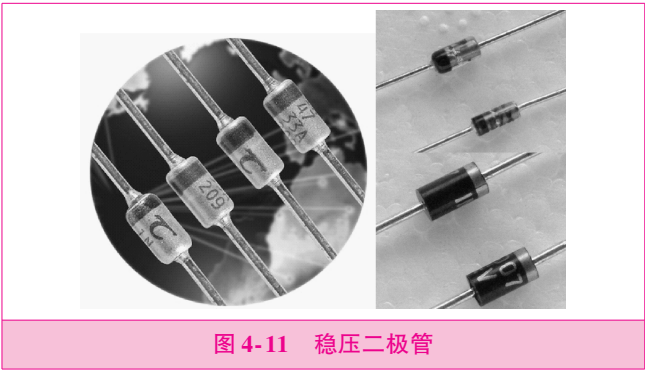


图 4-11 稳压二极管

稳压二极管在正常工作时，要求输入的电压相对稳定在一定范围内，电压变化幅度不能超过其允许范围。当输入电压超过一定值，将会使稳压管损坏；而当输入电压小于稳压二极管的稳压范围时，电路将达不到预期的稳压目的。

利用稳压二极管的稳压特性可以组成最简单的稳压电路，如图 4-12 所示。VS 为稳压二极管，在电路中起稳压作用；R 为限流电阻，在电路中起降压作用，同时可以限制负载电流，当流过负载的电流超过 R 允许的最大电流时，R 会烧断。

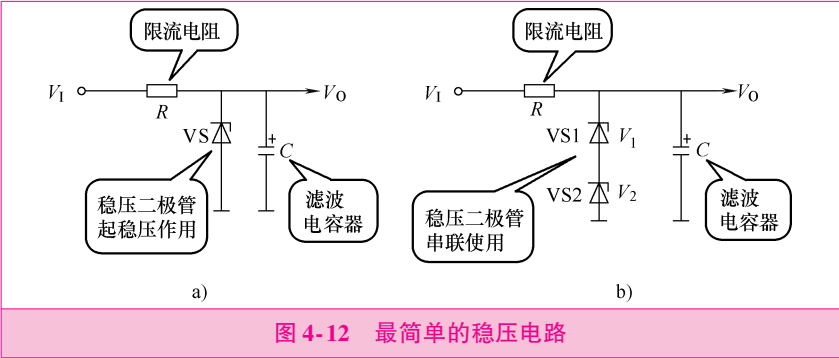
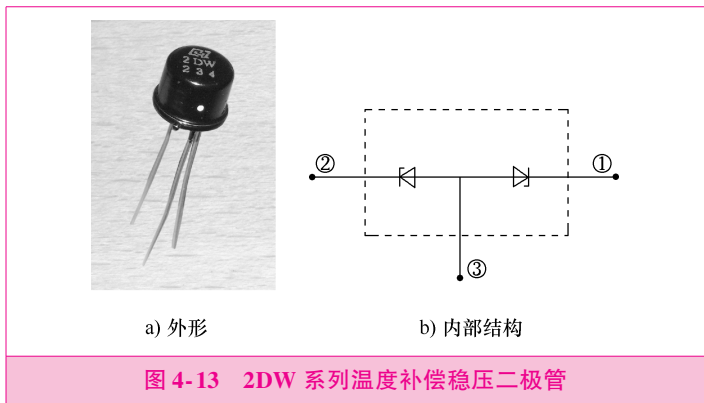


图 4-12 最简单的稳压电路

用于电子设备中的精密稳压电源中的 2DW 系列温度补偿稳压二极管，有三个引脚，如图 4-13 所示，它内部是由两只封装在一体的稳压二极管组成的。由于其外形与晶体管

相似，所以使用时要注意区分。这种稳压二极管正、负极的识别方法与两只引脚的稳压二极管相同，只需测出公共正极（即3脚），另两脚均为负极。



### 【重要提醒】

稳压二极管在稳压电路中是反向连接的，刚好与整流二极管的接法相反。

选用稳压二极管，应满足应用电路中主要参数的要求。稳压二极管的稳定电压值应与应用电路的基准电压值相同，稳压二极管的最大稳定电流应高于应用电路的最大负载电流 50% 左右。

### 3. 开关二极管

二极管具有单向导电的特性，在正向导通状态下的内部电阻很小，约为几十欧至几百欧；在反向电压下，其内部电阻很大，一般硅管在  $10\text{M}\Omega$  以上，锗管也有几十千欧至几百千欧。利用这一特性，二极管就可以在电路中起到控制电流接通或关断的作用，成为一个理想的“电子开关”。

开关二极管的开关时间主要由通态到关态的过渡时间决定，这个时间又称反向恢复时间。从开始加反向偏压时起到反向电流下降至起始值的  $1/10$  所需的时间称为反向恢复时间。开关二极管的开关速度是相当快的，硅开关二极管的反向恢复时间只有几纳秒，即使是锗开关二极管，也不过几百纳秒。

开关二极管具有开关速度快、体积小、寿命长、可靠性高等特点，广泛应用于电子设备的开关电路、检波电路、脉冲整流电路及自动控制电路中。

1N4148 就是一种很常用的开关二极管，如图 4-14 所示。

### 【重要提醒】

开关二极管要求一定开关时间，其开关特性瞬态响应要好；整流二极管对耐反向电压能力，整流电流大小及峰值电流大小有要求，如果是高频整流二极管同样要求其高频响应要好。如果要相互代用，首先依照耐最高反向电压、额定电流、最高峰值电流、结电容大小、恢复时间等参数选取。例如：常用的 1N4148 虽然是开关二极管，但是也可作为  $100\text{mA}$  以内的整流二极管来使用。



#### 4. 发光二极管

顾名思义，发光二极管是可以发光的，一般用文字符号 LED 来表示，采用砷化镓、镓铝砷和磷化镓等材料制成。**使用的材料不同，就可以发出红、绿、蓝、黄等不同颜色的光。**发光二极管的外形有圆形、长方形、三角形、正方形、组合形、特殊形等。

发光二极管通常用作电气设备的指示灯，用于特殊场合的微光照明，如图 4-15 所示。

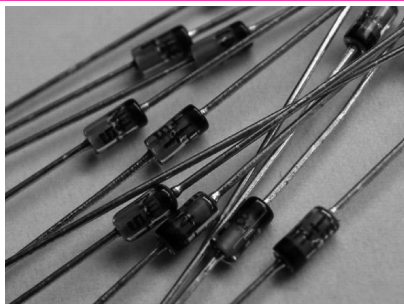


图 4-14 1N4148 开关二极管

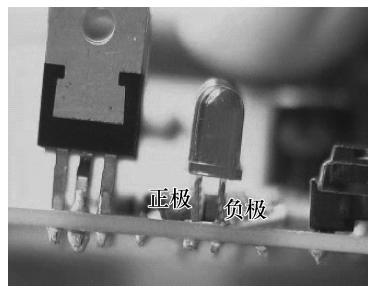


图 4-15 发光二极管在电路中的应用举例

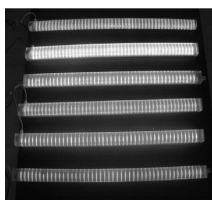
74

发光二极管有多种，较常用的有单色发光二极管、变色发光二极管、闪烁发光二极管、红外发光二极管和激光二极管等。

发光二极管正向工作电压一般在  $1.2 \sim 3\text{V}$ ，允许通过的电流为  $10 \sim 20\text{mA}$ 。

常用的发光二极管应用电路有四种，即直流驱动电路、交流驱动电路、脉冲驱动电路、变色发光驱动电路。

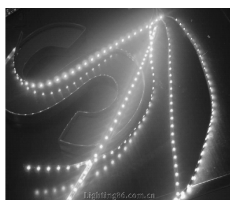
目前，发光二极管生产技术进步很快，亮度也有很大的提高，随着白色发光二极管的出现，现在已经被大量用于室外景观照明、室内照明、汽车前照灯照明等。近年来，许多液晶电视机内部的背光照明就是使用的发光二极管。常用的 LED 灯具如图 4-16 所示。



LED 数码管



LED 太阳能路灯



LED 灯带



LED 投光灯



LED 台灯



LED 水底灯

图 4-16 常用的 LED 灯具

【重要提醒】

发光二极管的导通电压是固定的，选用时需要考虑的是导通电流，电流过大会烧毁发光二极管。不同的发光二极管有不同的导通电流需求，一般可以选择5~20mA。导通电流可以通过限流电阻来调节。

5. 光敏二极管

光敏二极管也称为光电二极管，是一种将光信号转换为电信号的半导体器件。在光敏二极管的外壳上有一个透明的窗口，用来接收光线照射，实现光电转换，如图4-17所示。

光敏二极管是在反向电压作用下工作的，没有光照时，反向电流极其微弱，叫作暗电流；有光照时，反向电流迅速增大到几十微安，称为光电流。光的强度越大，反向电流也越大。光的变化引起光敏二极管电流的变化，这就可以把光信号转换成电信号，成为光敏传感器件。

光敏二极管的主要技术参数有最高反向工作电压、暗电流、光电流、灵敏度、结电容、正向压降和响应时间等。

光敏二极管一般作为光敏检测器件，将光信号转变成电信号，这类器件应用非常广泛。例如，应用于光的测量、光电自动控制、光纤通信的光接收机中等。

若干个光敏二极管可用作光电池，如图4-18所示。光敏二极管和光电池的主要差别是用途不同。光电池用于能量转化，光敏二极管用于探测。

75

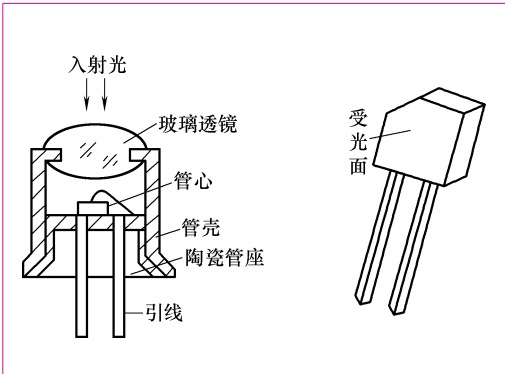


图 4-17 光敏二极管的结构

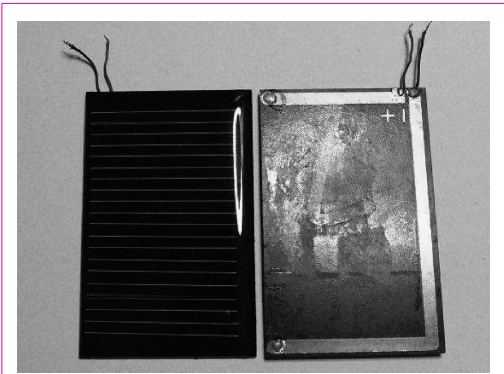


图 4-18 利用光敏二极管做成的光电池

【重要提醒】

光敏二极管、光敏晶体管是电子电路中广泛采用的光敏器件。光敏晶体管除具有光电转换的功能外，还具有放大功能。

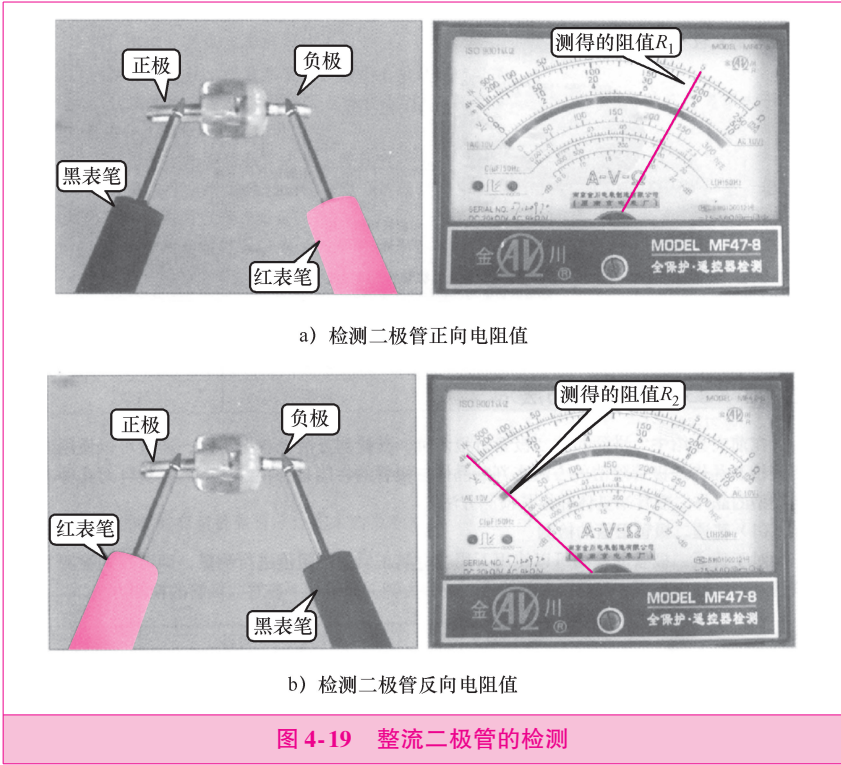
4.1.3 二极管的检测

1. 指针式万用表检测二极管

指针式万用表检测二极管是根据二极管的单向导电特性，通过测量二极管的正、反向电阻，可方便地判断二极管的引脚极性和质量好坏。

(1) 整流二极管的检测

一般用万用表  $R \times 1k$  档测量二极管的正、反向电阻，比较两次电阻值的大小来判别引脚的极性。通过两次测量，看电阻值小的那一次表笔的位置，与黑表笔接触的那个电极是正极，与红表笔接触的那个电极是负极，如图 4-19 所示。



在测量整流二极管正、反向电阻时，可能出现的几种情况说明见表 4-5。

表 4-5 测量整流二极管正、反向电阻的几种情况说明

| 测量正向电阻                    | 说 明                | 测量反向电阻    | 说 明                |
|---------------------------|--------------------|-----------|--------------------|
| 指针大幅度偏转，阻值为 $5k\Omega$ 左右 | 说明二极管正向电阻正常        | 几百千欧      | 说明二极管反向电阻正常        |
| 阻值为 0 或者远小于 $5k\Omega$    | 说明二极管已经击穿          | 阻值为 0     | 说明二极管已经击穿          |
| 几百千欧                      | 正向电阻很大，说明二极管已经开路   | 远小于几百千欧   | 反向电阻较小，说明二极管反向特性不良 |
| 几十千欧                      | 正向电阻较大，说明二极管正向特性不良 | 指针不动      | 说明二极管已经开路          |
| 测量时指针摆动不定                 | 说明二极管稳定性差          | 测量时指针摆动不定 | 说明二极管稳定性差          |

【重要提醒】

若正向电阻和反向电阻比较接近，则说明二极管已经失效。

### (2) 检波二极管的检测

对于检波二极管,应将万用表置于  $R \times 100$  档,其正向电阻约为几百欧(硅管为几千欧),反向电阻应在几百千欧以上。

### (3) 稳压二极管的检测

对于稳压二极管,若用万用表的  $R \times 1k$  档进行测量,也应具备普通二极管的特点。但用万用表  $R \times 1k$  档测量其正、反向电阻,正常时反向电阻较大,若发现指针摆动或其他异常现象,就说明该稳压二极管性能不良甚至损坏。

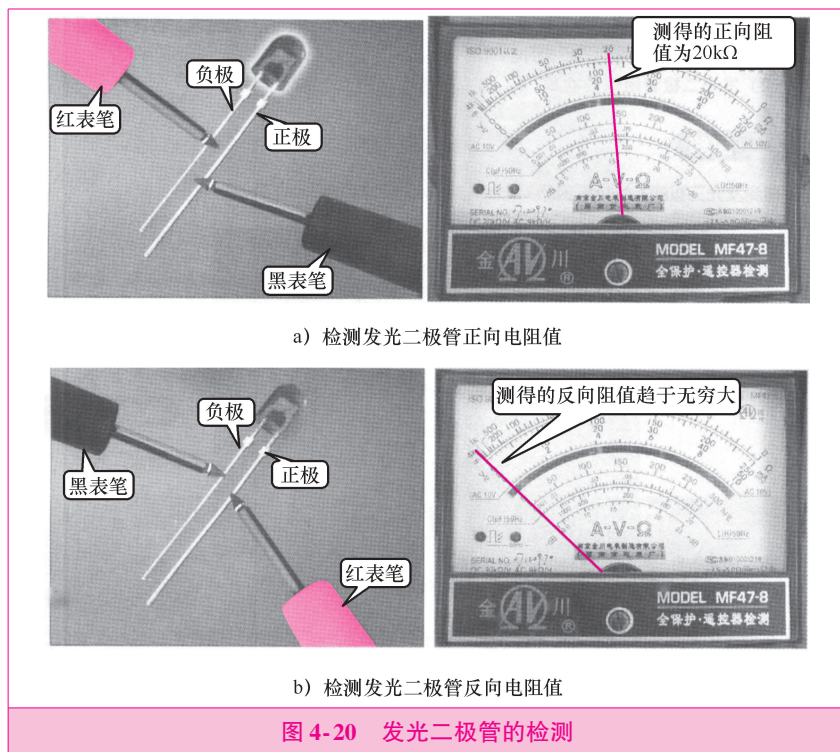
用在路通电的方法也可以大致测得稳压二极管的好坏,其方法是用万用表直流电压档测量稳压二极管两端的直流电压,若接近该稳压二极管的稳压值,说明该稳压二极管基本完好;若电压偏离标称稳压值太多或不稳定,说明稳压二极管损坏。

### 【重要提醒】

对于稳压值小于 9V 的稳压二极管来说,若用万用表的  $R \times 10k$  档进行测量,反向测量时稳压二极管也应导通(指针明显偏转)。

### (4) 发光二极管的检测

对于发光二极管来说,用万用表的  $R \times 1k$  档进行测量时,也应具备普通二极管的特点,但其正向电阻比普通二极管的正向电阻大一些,如图 4-20 所示。另外,在正向测量时,许多发光二极管会有微弱的光发出。但也有一些发光二极管因发光电流要求较大,故用万用表测量时,看不到有光发出,若用两节 1.5V 电池串联起来,经  $1k\Omega$  电阻向发光二



极管提供正向导通电流，发光二极管便会发光，如图 4-21 所示。因此，也可以通过观察发光二极管有无光发出来判断其好坏。也可用数字万用表判断发光二极管的好坏。

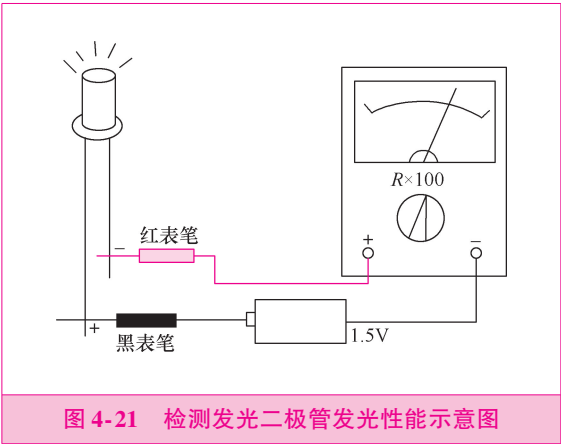


图 4-21 检测发光二极管发光性能示意图

【重要提醒】

指针式万用表检测一般小功率二极管的正、反向电阻值，不宜使用  $R \times 1$  和  $R \times 10k$  档。这是因为前者通过二极管的正向电流较大，可能烧毁管子；后者加在二极管两端的反向电压太高，易将管子击穿。另外，二极管的正、反向电阻值随检测用电表的量程不同而不一样，甚至相差比较悬殊，这属正常现象。

用 MF47 型指针式万用表欧姆档检测二极管的正、反向电阻值可判别其种类及质量。其阻值特点及极性判别如表 4-6 所示。

表 4-6 几种特殊二极管的正、反向电阻值特点及极性判别表

| 二极管名称    | 档 位            | 阻 值 特 点      |                               | 极性判断及特殊现象                           |
|----------|----------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------------|
|          |                | 正 向 电 阻      | 反 向 电 阻                       |                                     |
| 3V 稳压二极管 | $R \times 1k$  | $8k\Omega$   | $90k\Omega$                   | 阻值较小的一次，黑表笔所接为正极，红表笔接负极。其反向阻值体现其稳压值 |
| 发光二极管    | $R \times 10k$ | $20k\Omega$  | $\infty$                      | 阻值较小的一次，黑表笔所接为正极，此时二极管会发出微光         |
| 红外发射管    | $R \times 10k$ | $20k\Omega$  | $\infty$                      | 阻值较小的一次，黑表笔所接为正极，且不发光               |
| 红外接收管    | $R \times 10k$ | $200k\Omega$ | 无光照时可趋于 $\infty$<br>受光照时可趋于 0 | 不受光影响的一次阻值来判断，黑表笔所接为正极              |



二极管检测方法口诀

单向导电二极管，一个正极一负极。  
正反两次比阻值，一大一小记仔细。  
阻值小者看表笔，红负黑正定电极。  
两次电阻相差大，表明性能是优异。  
两次电阻无穷大，内部断路应该弃。  
两次电阻均为零，表明内部已被击。  
两次电阻相接近，内部失效很不利。  
类型不同换档位，表内电压要注意。  
换档测量值不一，相差悬殊不为奇。  
检测发光二极管，可串电阻加电池。

【知识窗】

普通二极管与稳压二极管的区别

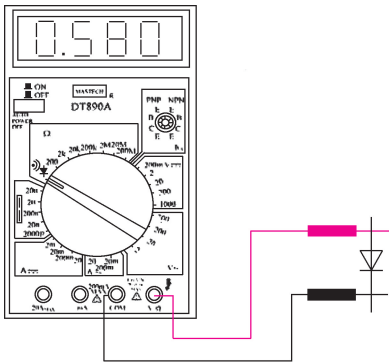
先将万用表置  $R \times 1k$  档，按前述方法测出二极管的正、负极；然后将黑表笔接被测二极管负极，红表笔接二极管正极，此时所测为 PN 结反向电阻，阻值很大，指针不偏转。然后将万用表转换到  $R \times 10k$  档，此时指针如果向右偏转一定角度，说明被测二极管是稳压二极管；若指针不偏转，说明被测二极管可能不是稳压二极管。

以上方法仅适于测量稳压值低于万用表  $R \times 10k$  档电池电压的稳压二极管。

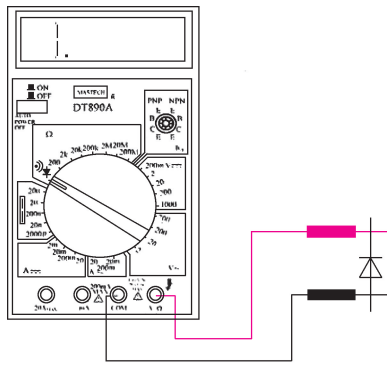
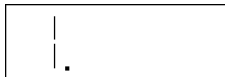
2. 数字万用表检测二极管

数字万用表检测普通二极管时，将转换开关置于 “ $\rightarrow|$ ” 档或 “ $\rightarrow|$ ” 档，红表笔接被测二极管的正极，黑表笔接测二极管的负极，此时显示屏所显示的就是被测二极管的正向压降。具体方法见表 4-7。

表 4-7 数字万用表检测二极管的好坏

| 接线示意图                                                                                            | 显示屏显示                                                                               | 说 明                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|  <p>测正向电压</p> |  | 如果被测二极管是好的，正偏时，硅二极管应有 0.5 ~ 0.7V 的正向压降，锗二极管应有 0.1 ~ 0.3V 的正向压降 |
|                                                                                                  |  | 表明被测二极管已经击穿短路                                                  |
|                                                                                                  |  | 表明被测二极管内部已经开路                                                  |

(续)

| 接线示意图                                                                                      | 显示屏显示                                                                             | 说 明                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| <br>测反向电压 |  | 反偏时，硅二极管与锗二极管均显示溢出符号“1”       |
|                                                                                            |  | 若正、反向均显示溢出符号“1”，表明被测二极管内部已经开路 |

【重要提醒】

对于正向电阻变大和反向电阻变小的二极管，一般情况下，用数字万用表不能有效检测出来，不如指针式万用表有效。

3. 在路测量二极管

在路检测法是指对连接在电路中的二极管不将其取出来，在电路中直接检测。其检测方法有两种：一种是电阻法，另一种是电压法。

(1) 电阻法

电阻法同于上述好坏检测法，但要注意与二极管并联的电阻及其他电路对测量结果的影响。有时不能有效地鉴定其好坏，必要时还需要将其拆下进一步鉴定。

(2) 电压法

电压法是在电路加电的情况下，测量二极管的正向压降。我们已知道，二极管的正向压降为0.5~0.7V。如果在电路加电的情况下，二极管两端正向电压远远大于0.7V，该二极管肯定开路损坏。具体方法是，用万用表1V电压档，用红表笔接二极管的正极，黑表笔接二极管的负极（指针式万用表与数字万用表相同）进行测量，测得的电压值即为二极管上的正向压降。根据测得的正向压降即可对二极管的好坏进行分析，其方法见表4-8。

表 4-8 二极管上正向压降分析

| 二极管类型及正向压降 |         | 说 明                                   |
|------------|---------|---------------------------------------|
| 硅二极管       | 0.6V    | 说明二极管工作正常，并且二极管处于正向导通状态               |
|            | 远大于0.6V | 说明二极管处于截止状态或二极管有故障                    |
|            | 接近0V    | 说明二极管处于击穿状态，二极管所在回路电流会增大许多，二极管无单向导电特性 |



(续)

| 二极管类型及正向压降 |           | 说 明                                   |
|------------|-----------|---------------------------------------|
| 锗二极管       | 0.2 V     | 说明二极管工作正常，并且二极管处于正向导通状态               |
|            | 远大于 0.2 V | 说明二极管处于截止状态或二极管有故障                    |
|            | 接近 0 V    | 说明二极管处于击穿状态，二极管所在回路电流会增大许多，二极管无单向导电特性 |

4. 检测二极管注意事项

- 1) 不同材料的二极管其正常的正、反向电阻大小不同，硅二极管正、反向电阻均大于锗二极管的正、反向电阻。目前常用硅二极管。
- 2) 同一个二极管用同一个万用表不同量程测量时的正、反向电阻大小不同；同一个二极管用不同型号万用表测量的正、反向电阻大小也是不同的。这里的阻值大小不同指大小略有些差别，相差不很大。
- 3) 测量二极管的正向电阻时，如果指针不能迅速停止在某一个阻值上，而是在不断摆动，说明二极管的热稳定性不好。
- 4) 使用数字万用表时，表中有专门的 PN 结测量档，此时可以用这一功能去测量二极管的质量，但是二极管必须脱离电路。
- 5) 检测二极管的各种方法可以在具体情况下灵活选用。修理过程中，先用在路检测方法，或通电检测方法，对已经拆下或新二极管，用脱开检测方法。

81

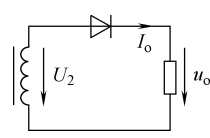
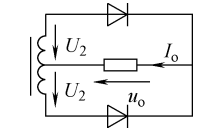
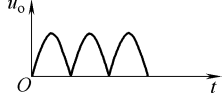
4.1.4 二极管整流电路

利用二极管的各种主要特性，可以构成多种整流电路。

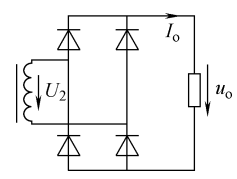
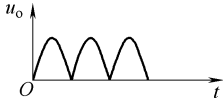
整流电路的任务是将交流电变换成直流电。完成这一任务主要靠二极管的单向导电特性，因此二极管是构成整流电路的关键器件。

常见的二极管单相整流电路有半波整流、全波整流和桥式整流三种方式，这几种整流电路的电路图、整流电压的波形及计算公式见表 4-9。

表 4-9 常见的二极管整流电路

| 类 型  | 电 路                                                                                 | 整流电压的波形                                                                             | 整流电压<br>平均值 | 每管电流<br>平均值      | 每管承受<br>最高反压   |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|----------------|
| 半波整流 |  |  | $0.45U_2$   | $I_o$            | $\sqrt{2}U_2$  |
| 全波整流 |  |  | $0.9U_2$    | $\frac{1}{2}I_o$ | $2\sqrt{2}U_2$ |

(续)

| 类 型  | 电 路                                                                               | 整流电压的波形                                                                           | 整流电压<br>平均值 | 每管电流<br>平均值      | 每管承受<br>最高反压  |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|---------------|
| 桥式整流 |  |  | $0.9U_2$    | $\frac{1}{2}I_o$ | $\sqrt{2}U_2$ |

4.2 晶体管

4.2.1 晶体管简介

1. 晶体管的作用

晶体管，俗称三极管，是一种电流控制电流的半导体器件，可用来对微弱信号进行放大。现在的大规模集成电路的核心器件就是晶体管。

晶体管还有电子开关的作用，配合其他元器件还可以构成振荡器。此外，晶体管还有稳压的作用。

【重要提醒】

在电子电路中，晶体管的作用非常大，可以说没有晶体管的发明就没有现代信息社会的如此多样化。

2. 晶体管的种类

晶体管的种类很多，分类方法也有多种，一般可按用途、频率、功率、材料等进行分类，见表 4-10。

表 4-10 晶体管的种类

| 分 类 方 法 | 种 类      | 说 明                         |
|---------|----------|-----------------------------|
| 按材料分    | 硅晶体管     | 工作稳定性好，是电子电路中最常用的晶体管        |
|         | 锗晶体管     | 反向电流较大，在电路中容易受温度变化影响        |
| 按极性分    | NPN 型晶体管 | 最常用的是 NPN 型硅晶体管             |
|         | PNP 型晶体管 |                             |
| 按用途分    | 电源调整管    | 以晶体管为核心，与其他元器件配合可用来组成各种功能电路 |
|         | 行管       |                             |
|         | 功放对管     |                             |
| 按功率分    | 小功率晶体管   | 一般用于前级放大电路                  |
|         | 中功率晶体管   | 一般用于小功率放大器的输出级电路            |
|         | 大功率晶体管   | 一般用于功率放大器输出级电路              |

(续)

| 分类方法   | 种类      | 说明                                                                           |
|--------|---------|------------------------------------------------------------------------------|
| 按工作频率分 | 低频晶体管   | 用于音频放大器电路、直流放大器电路                                                            |
|        | 高频晶体管   | 用于各种高频放大器电路                                                                  |
| 按封装材料分 | 金属封装晶体管 | 一般大功率晶体管及高频晶体管采用金属封装                                                         |
|        | 塑料封装晶体管 | 一般小功率晶体管采用塑料封装                                                               |
| 按安装形式分 | 贴片式     | 引脚非常短，晶体管直接焊接安装在电路板的铜箔电路上。通常适用于工厂的贴片机焊接，人工焊接比较困难，但细心操作也可以焊接                  |
|        | 插件式     | 大量的晶体管均采用插件式结构，三个引脚较长，通过电路板上的插孔伸到背面铜箔电路上，在焊盘上用焊锡丝焊接。特别适合于人工焊接，也可用于工厂的波峰焊接机焊接 |

3. 晶体管的结构

晶体管是由两个相距很近的 PN 结结合在一起，加上相应的电极引线和密封壳做成的半导体器件。

按照 PN 结的组合方式不同，有 PNP 和 NPN 型两大类的晶体管，如图 4-22 所示。从图中可看出，晶体管有两个 PN 结，三个区，三个电极（引脚）。

两个 PN 结——发射结（BE 结）、集电结（BC 结）。

三个区——发射区、基区、集电区。

三个电极——基极（符号为 B 或 b）、集电极（符号为 C 或 c）和发射极（符号为 E 或 e）。

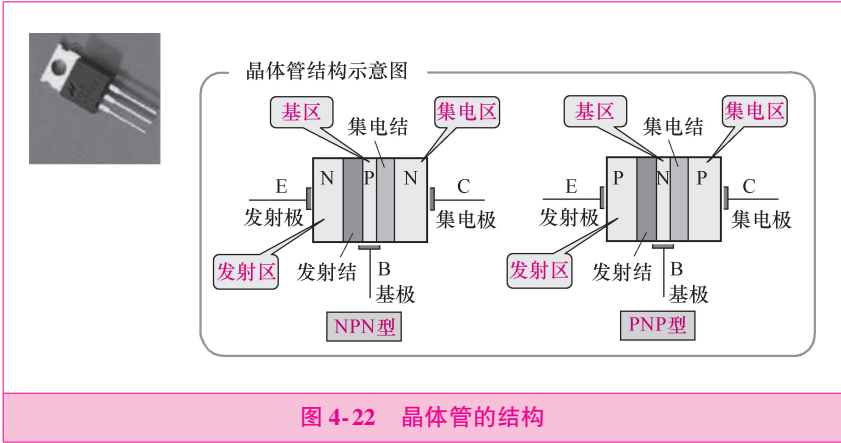


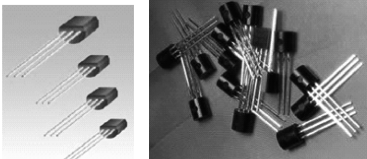
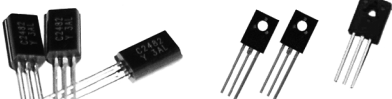
图 4-22 晶体管的结构

NPN 型晶体管是因其半导体排列顺序为 N-P-N 而得名，它的中间层为 P 型半导体，上下层为 N 型半导体。PNP 型晶体管是因其半导体排列顺序为 P-N-P 而得名，它的中间层为 N 型半导体，上下层为 P 型半导体。

4. 晶体管的外形及特点

常用晶体管的外形及特点见表 4-11。

表 4-11 常用晶体管的外形及特点

| 晶 体 管  | 特 点                                               | 外 形                                                                                                                                                                                                       |
|--------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 小功率晶体管 | 通常情况下，集电极最大允许耗散功率 $P_{CM}$ 在 1W 以下的晶体管称为小功率晶体管    | <div>a) 金属封装</div> <div>b) 塑料封装</div>  |
| 中功率晶体管 | 通常情况下，集电极最大允许耗散功率 $P_{CM}$ 在 1 ~ 10W 的晶体管称为中功率晶体管 | <div>a) 塑料封装</div> <div>b) 金属封装</div> |
| 大功率晶体管 | 集电极最大允许耗散功率 $P_{CM}$ 在 10W 以上的晶体管称为大功率晶体管         | <div>a) 金属封装</div> <div>b) 塑料封装</div>  |
| 贴片晶体管  | 采用表面贴装技术的晶体管称为贴片晶体管。贴片晶体管有三个引脚的，也有四个引脚的           |                                                                                                                       |

5. 晶体管的电路符号

在电路图中，晶体管的文字符号为“VT”，图形符号如图 4-23 所示。图形符号的画法有竖式、横式，可适用于在电路图中不同位置绘制。

【重要提醒】

我们识别 NPN 和 PNP 型晶体管，关键是抓住发射极上的箭头指向，箭头指向外为 NPN 型，箭头指向内为 PNP 型。发射极箭头的方向指明了晶体管三个电极的电流方向。

6. 晶体管的引脚排列

晶体管引脚的排列方式具有一定的规律。抓住这一规律，可快速识别出晶体管的引脚电极。当然，对于一些自己不熟悉的晶体管，准确判断其引脚的电极需要用万用表测量，详见本章后面的介绍。如果在进行晶体管安装时，引脚识别错误，就会引起安装错误，其结果必然会损坏晶体管。

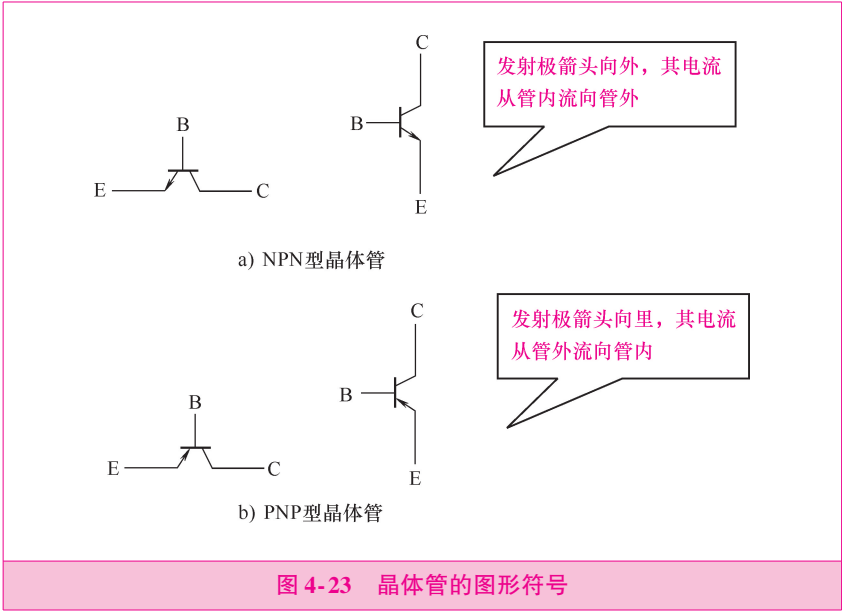


图 4-23 晶体管的图形符号

(1) 国产小功率金属封装晶体管引脚排列

管体上没有定位销的有三个引脚的晶体管，如图 4-24a 所示，按照底视图位置放置，使三个引脚构成等腰三角形的顶点上，把等腰三角形的底边对着自己，顺时针方向从左向右依次 E、C 为底边，余下的是 B。

管体上有一个突出的定位销的有三个引脚的晶体管，如图 4-24b 所示，按照底视图位置放置，使三个引脚构成等腰三角形的顶点上，把等腰三角形的底边对着自己，从左向右依次 E、C 为底边，余下的是 B。

管体上有一个突出的定位销的有四个引脚的晶体管，如图 4-24c 所示，按照底视图位置放置，从定位销处按顺时针方向依次为 E、B、C、D，其中，D 引脚接金属外壳。

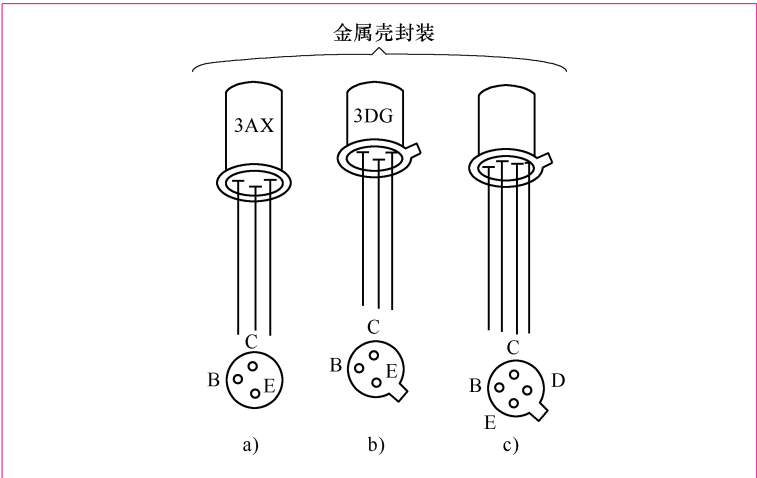


图 4-24 国产小功率金属封装晶体管引脚排列

### （2）国产中小功率塑封晶体管引脚排列

对于国产中小功率塑封晶体管，使其平面朝向外，半圆形朝内，三个引脚朝上放置，则从左到右依次为 E、B、C，其引脚识别图如图 4-25 所示。

### （3）国产大功率金属封装晶体管的引脚排列

对于国产大功率采用全金属封装的晶体管，使管底朝自己，中心线上方左侧为基极，右侧为发射极，金属外壳为集电极，如图 4-26 所示。

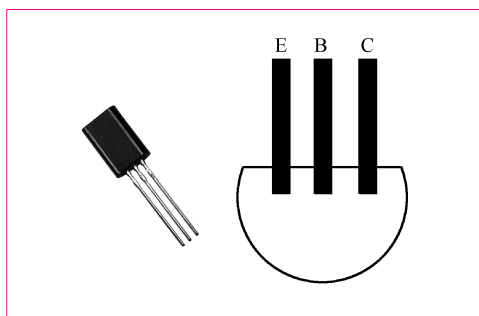


图 4-25 国产中小功率塑封晶体管引脚排列

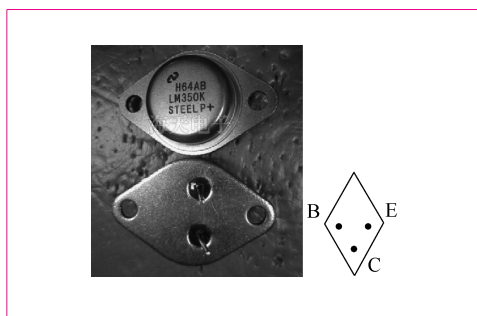


图 4-26 大功率金属封装晶体管的引脚排列

### （4）部分进口晶体管引脚排列

常用 9011 ~ 9018、1815 系列晶体管引脚排列如图 4-27 所示。平面对着自己，引脚朝下，从左至右依次是 E、B、C。

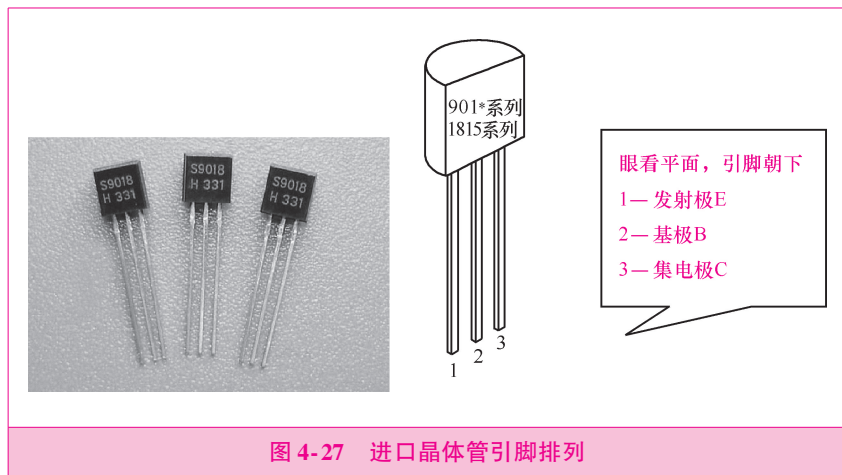


图 4-27 进口晶体管引脚排列

### （5）贴片晶体管引脚排列

贴片晶体管有三个电极的，也有四个电极的。

一般三个电极的贴片晶体管从顶端往下看有两边，上边只有一脚的为集电极，下边的两脚分别是基极和发射极，如图 4-28 所示。

在四个电极的贴片晶体管中，比较大的一个引脚是晶体管的集电极，另有两个引脚是相通的，为发射极，余下的一个是基极，如图 4-29 所示。

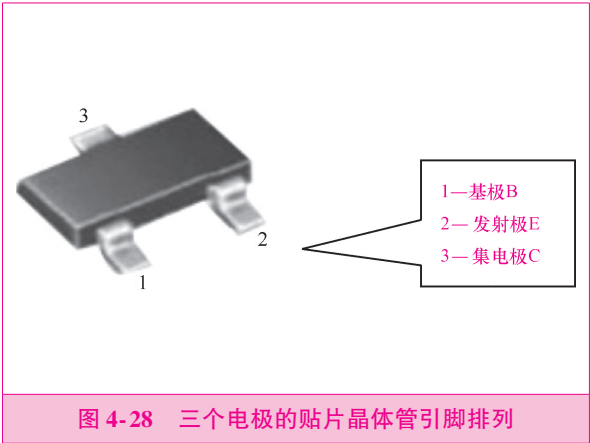


图 4-28 三个电极的贴片晶体管引脚排列



图 4-29 四个电极的贴片晶体管引脚排列

### 7. 晶体管命名规则

#### (1) 国产晶体管的型号命名

国产晶体管的型号命名由五部分组成，如图 4-30 所示。



图 4-30 国产晶体管命名规则

第一部分：国内用数字“3”表示主称是晶体管，国外用“2”表示晶体管。

第二部分：用字母表示晶体管的材料和极性。“A”表示 PNP 型锗材料，“B”表示 NPN 型锗材料，“C”表示 PNP 型硅材料，“D”表示 NPN 型硅材料。

第三部分：用字母表示晶体管的类别。“X”表示低频小功率管，“G”表示高频小功率管，“D”表示低频大功率管，“A”表示高频大功率管。

第四部分：用数字表示产品的序号，序号不同的晶体管其特性不同。

第五部分：用字母表示规格号。

#### (2) 日本进口晶体管的型号命名

日本半导体器件型号命名由五部分组成。

第一部分：用数字表示半导体器件有效数目和类型。1 表示二极管，2 表示晶体管。

第二部分：用 S 表示已在日本电子工业协会登记的半导体器件。

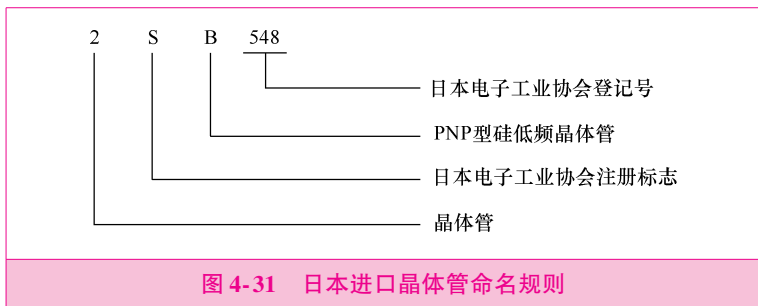


第三部分：用字母表示该器件使用材料、极性和类型。

第四部分：表示该器件在日本电子工业协会的登记号。

第五部分：用字母表示同一型号的改进型产品标志，A、B、C、D、E、F 表示这一器件是原型号产品的改进产品。

如果某晶体管没有改进型产品，则命名可由四个部分组成，如图 4-31 所示。



## 8. 晶体管主要参数

晶体管的主要参数有直流放大参数  $\beta$ 、最高反向击穿电压  $U_{CE0}$ 、最大集电极电流  $I_{CM}$ 、最大耗散功率  $P_{CM}$ 、穿透电流  $I_{CEO}$  和工作频率  $f_T$  等，这些参数是正确使用晶体管的依据。某种型号晶体管的具体参数，可通过晶体管手册查找。

对于初学者来说，这些参数的含义可以暂时不用了解。以后有了一定基础，再慢慢学习与研究这些参数。

## 4.2.2 晶体管的放大作用及工作状态

### 1. 晶体管的电流分配

晶体管的电流流向是确定的，但不同极性的晶体管电流流向不同，如图 4-32 所示。无论是 NPN 型还是 PNP 型晶体管，三个电极电流之间的关系相同，就是发射极电流等于集电极电流加上基极电流，即

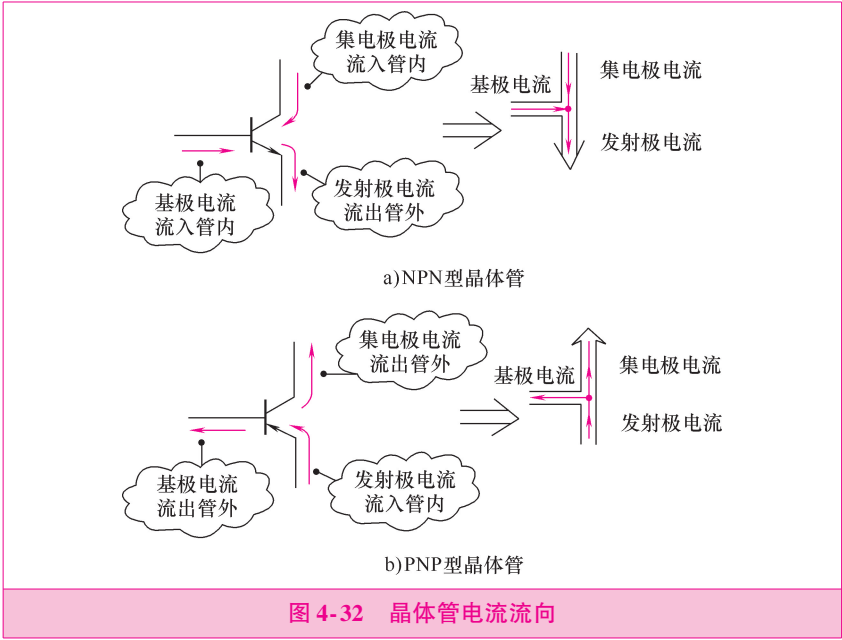
$$I_E = I_B + I_C = (1 + \beta)I_B$$

### 2. 晶体管的放大作用

给晶体管加上合适的工作电压（发射结正向偏置，集电结反向偏置。具体来说，对 NPN 型晶体管，三个电极的电位关系应满足： $U_C > U_B > U_E$ ；对 PNP 型晶体管，则应满足： $U_C < U_B < U_E$ 。），流过集电极的电流与流过基极的电流之比是一个常数，称为电流放大系数，用  $\beta$  表示。

工作于放大状态的晶体管，基极电流  $i_B$  远小于集电极电流  $i_C$  和发射极电流  $i_E$ ，只要发射结电压  $U_{BE}$  有微小变化，造成基极电流  $i_B$  有微小变化，就能引起集电极电流  $i_C$  和发射极电流  $i_E$  大的变化，这就是晶体管的电流放大作用。简单地说，当基极电流  $i_B$  有一微小变化，便可引起集电极电流  $i_C$  很大变化，即

$$I_C = \beta I_B$$



【知识窗】

$\beta$  值色点表示法

通常在晶体管的管壳顶端标上不同颜色的色点，表示它的  $\beta$  值，如图 4-33 所示。不同颜色色点表示的  $\beta$  值见表 4-12。

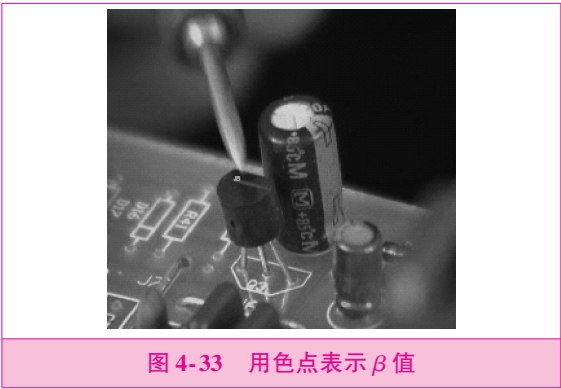


图 4-33 用色点表示  $\beta$  值

表 4-12 色点与  $\beta$  值的对应关系

|           |          |           |           |           |            |
|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 颜 色       | 棕        | 红         | 橙         | 黄         | 绿          |
| $\beta$ 值 | 5 ~ 15   | 15 ~ 25   | 25 ~ 40   | 45 ~ 55   | 55 ~ 80    |
| 颜 色       | 蓝        | 紫         | 灰         | 白         | 黑          |
| $\beta$ 值 | 80 ~ 120 | 120 ~ 180 | 180 ~ 270 | 400 ~ 600 | 600 ~ 1000 |

在选用晶体管时，并不是  $\beta$  值大的晶体管质量就好，往往  $\beta$  值大的晶体管工作时性能不很稳定。一般选用  $\beta$  在 40 ~ 80 之间的管子较为合适。

3. 晶体管的三种工作状态

晶体管的截止、饱和、放大称为晶体管的三种工作状态。截止、饱和状态主要用于开关电路；放大状态主要用于放大电路中。晶体管三种工作状态的判断方法见表 4-13。

表 4-13 晶体管三种工作状态的判断方法

| 工作状态 | 电路条件        | 电流特征                                                                    |
|------|-------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 截止   | 发射结反偏，集电结反偏 | $i_B = 0$ 或很小、 $i_C = 0$ 或很小时，晶体管无电流放大作用，此时如同开关处于断开状态                   |
| 放大   | 发射结正偏，集电结反偏 | $i_C$ 受 $i_B$ 控制， $I_C = \beta I_B$ ， $I_E = (1 + \beta) I_B$ ，具有电流放大作用 |
| 饱和   | 发射结正偏，集电结正偏 | $i_B$ 失去对 $i_C$ 的控制作用， $\beta$ 很小，甚至小于 1；此时如同开关处于闭合状态                   |

4.2.3 晶体管的检测及好坏判断

1. 指针式万用表检测晶体管

(1) 判断基极和管型

由于晶体管的基极对集电极和发射极的正向电阻都较小，据此，我们可先找出基极，其方法是用万用表的黑表笔接基极、红表笔接另外两个极，阻值都很小，则为 NPN 型晶体管的基极；如果红表笔接基极、黑表笔接另外两个极，阻值都很小，则为 PNP 型晶体管的基极，如图 4-34 所示。

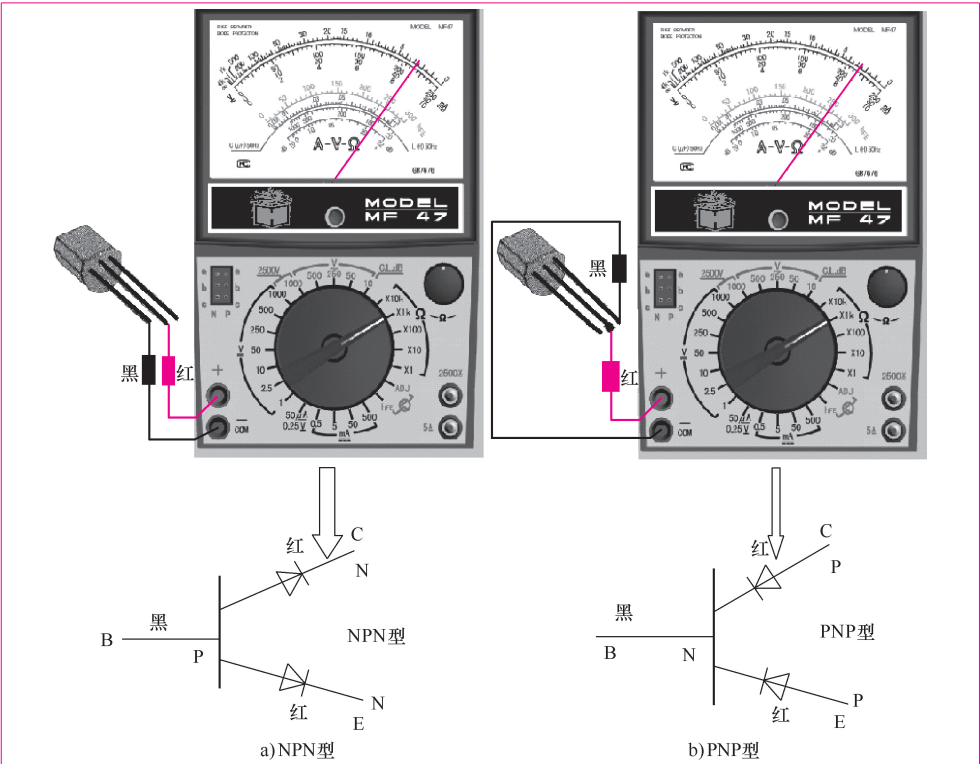
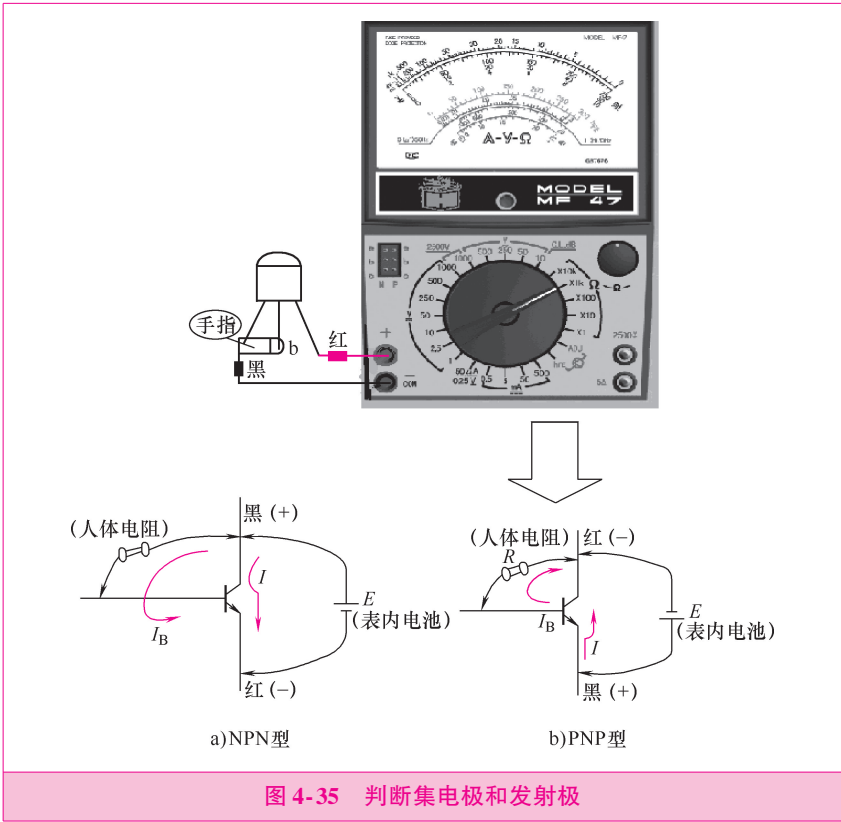


图 4-34 判断基极和管型

(2) 判断集电极和发射极

在晶体管的类型和基极确定后，将红、黑表笔分别接待测的集电极和发射极，基极通过 20 ~ 100Ω 的电阻与集电极相接。根据晶体管共发射极电流放大原理可知，PNP 型晶体管集电极接红表笔（电池负极），指针偏转角将变大；对于 NPN 型晶体管，则集电极接黑表笔时，指针偏转角变大。这样就可判断出集电极和发射极。

也用手捏住基极与另一个电极，利用人体电阻代替基极与集电极相接的那个 20 ~ 100Ω 的电阻，则同样可以判别出集电极和发射极，如图 4-35 所示。



指针式万用表测量晶体管口诀

晶体管，两类型，三个极，E、B、C。

万用表，欧姆档，找基极（B），固黑笔，NPN，固红笔，PNP。

NPN，捏基极（B），阻值小，黑接集（C）。

PNP，捏基极（B），阻值小，红接集（C）。

剩余极，是发射（E）。

2. 数字万用表检测晶体管

利用数字万用表不仅能判定晶体管的电极、测量管子的电流放大系数  $h_{FE}$ ，还可鉴别

硅管与锗管。

### （1）判定基极

将数字万用表的量程开关置于二极管档，红表笔固定任接某个引脚，用黑表笔依次接触另外两个引脚，如果两次显示值均小于 1V 或都显示溢出符号“1”，则红表笔所接的引脚就是基极 B。如果在两次测试中，一次显示值小于 1V，另一次显示溢出符号“1”，表明红表笔接的引脚不是基极 B，此时应改换其他引脚重新测量，直到找出基极 B 为止。

### （2）判定 NPN 型管与 PNP 型管

仍使用数字万用表的二极管档。按上述操作确认基极 B 之后，将红表笔接基极 B，用黑表笔先后接触其他两个引脚。如果都显示 0.500 ~ 0.800V，则被测管属于 NPN 型；若两次都显示溢出符号“1”，则表明被测管属于 PNP 型。

### （3）判定集电极 C 与发射极 E（兼测 $h_{FE}$ 值）

92 区分晶体管的集电极 C 与发射极 E，需使用数字万用表的  $h_{FE}$  档。如果假设被测管是 NPN 型管，则将数字万用表拨至  $h_{FE}$  档，使用 NPN 插孔。把基极 B 插入 B 孔，剩下两个引脚分别插入 C 孔和 E 孔中。若测出的  $h_{FE}$  为几十 ~ 几百，说明管子属于正常接法，放大能力较强，此时 C 孔插的是集电极 C，E 孔插的是发射极 E，如图 4-36 所示。

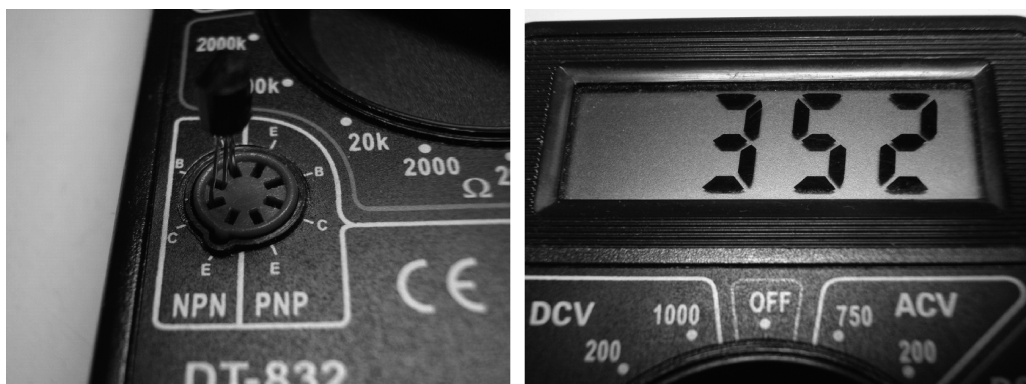


图 4-36 晶体管 C、E 极的判定

若测出的  $h_{FE}$  值只有几 ~ 十几，则表明被测管的集电极 C 与发射极 E 插反了，这时 C 孔插的是发射极 E，E 孔插的是集电极 C。

为了使测试结果更可靠，可将基极 B 固定插在 B 孔不变，把集电极 C 与发射极 E 调换复测 1 ~ 2 次，以仪表显示值大（几十 ~ 几百）的一次为准，C 孔插的引脚即是集电极 C，E 孔插的引脚则是发射极 E。

## 3. 判定硅管和锗管

硅管和锗管的 PN 结正向电阻是不一样的，即硅管的正向电阻大，锗管的小。利用这一特性就可以用指针式万用表来判别一只晶体管是硅管还是锗管。判断方法如下。

1) 将指针式万用表拨到  $R \times 100$  档或  $R \times 1k$  档，并调零。

2) 测量 NPN 型晶体管时, 万用表的黑表笔接基极, 红表笔接集电极或发射极; 测量 PNP 型晶体管时, 万用表的红表笔接基极, 黑表笔接集电极或发射极。

3) 如果测得的阻值小于  $1\text{k}\Omega$ , 则所测的管子是锗管; 如果测得的阻值在  $5 \sim 10\text{k}\Omega$ , 则所测的管子是硅管。

#### 4. 判定高频管和低频管

1) 用指针式万用表测量晶体管发射极的反向电阻, 如果是测量 PNP 型管, 万用表的黑表笔接基极, 红表笔接发射极; 如果是测量 NPN 型管, 万用表的红表笔接基极, 黑表笔接发射极。

2) 用万用表的  $R \times 1\text{k}$  档测量, 此时万用表的指针指示的阻值应当很大, 一般不超过满刻度值的  $1/10$ 。

3) 再将万用表转换到  $R \times 10\text{k}$  档, 如果指针指示的阻值变化很大, 超过满刻度值的  $1/3$ , 则此管为高频管; 反之, 如果万用表转换到  $R \times 10\text{k}$  档后, 指针指示的阻值变化不大, 不超过满刻度值的  $1/3$ , 则所测的管子为低频管。

#### 5. 晶体管好坏的检测

普通晶体管好坏的判断方法很多, 主要是利用万用表来判断。下面以 NPN 型晶体管好坏的检测为例予以说明。

将指针式万用表置于  $R \times 1\text{k}$  档, 黑表笔与晶体管基极相连, 分别测晶体管基极与发射极、基极与集电极之间的电阻, 这两种情况下的电阻值均为千欧级 (若晶体管为锗管, 阻值为  $1\text{k}\Omega$  左右; 若为硅管, 阻值为  $7\text{k}\Omega$  左右); 对调表笔, 再测发射结和集电结的电阻, 其阻值均为无穷大, 由此可初步判定此晶体管是好的; 否则说明此晶体管是坏的。

接下来, 可进一步判断晶体管的好坏。将万用表置于  $R \times 10\text{k}$  档, 用红、黑表笔测晶体管发射极和集电极之间的电阻, 然后对调表笔再测一次, 这两次所测得的电阻有一次应为无穷大, 另一次为几百千欧到几千千欧, 由以上即可判定此晶体管为好的。如果两次测得晶体管发射极和集电极之间的电阻都为零或都为无穷大, 则说明晶体管发射极和集电极之间短路或开路, 此晶体管已不再可用。

对于 PNP 型晶体管, 用上面的方法判断时将万用表的红、黑表笔对调一下即可。

一般来说, 晶体管损坏后的常见故障主要有以下三种:

- 1) BE 结击穿短路和开路。
- 2) CE 结击穿短路和开路。
- 3) CB 结击穿短路。

### 4.2.4 晶体管的应用

#### 1. 晶体管的选配

晶体管的型号众多, 仅普通晶体管就有几千个型号。在选用各种晶体管时, 要根据具体电路的要求选用不同的型号, 选好各项主要技术参数、外形尺寸和封装形式等, 见表 4-14。

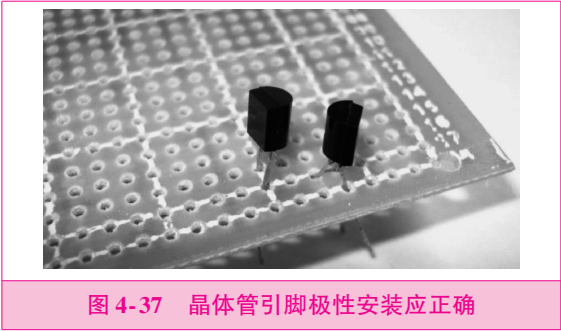


表 4-14 晶体管的选配

| 序号 | 选配方法               | 说明                                                             | 举 例                                                                                                                             |
|----|--------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 根据具体电路要求，选用不同类型晶体管 | 家用电器和其他电子设备的种类很多，每一种设备又有不同的电路，各个电路根据要实现的功能不同，应选配不同类型的晶体管       | 在低频功率放大电路中，可选用低频大功率管或低频小功率管；数字电路、驱动电路可选用小功率开关晶体管                                                                                |
| 2  | 根据晶体管的主要参数进行选配     | 在选好晶体管种类、型号的基础上，再看晶体管的各项参数是否符合电路要求                             | 1) 特征频率一般比电路的工作频率高三倍以上。<br>2) 电流放大系数一般为 40 ~ 80。<br>3) 集电极反向电流要小，一般应小于 10 $\mu$ A。<br>4) 选用开关管就要求有较快的开关速度和较好的开关特性，特征频率要高，反向电流要小 |
| 3  | 选用合适的外形尺寸和封装形式     | 晶体管的外形和封装形式有多种，一般大功率塑封管都带有散热片；从外形上看，有方形的、圆形的、芝麻形的、微型的和片状晶体管等多种 | 在满足型号、参数的基础上，要考虑外形和封装，在安装位置允许的前提下，优先选用小型化产品和塑封产品，以减小整机尺寸、降低成本                                                                   |

2. 晶体管使用的常识

1) 晶体管焊接在电路上之前，必须首先要弄清晶体管的类型和它的电极。不能粗心大意，接错引脚，如图 4-37 所示。判定的方法，可查阅有关资料手册，也可通过仪表测量判定。



2) 晶体管装入印制电路板时，小功率管最好是直插；中功率晶体管可用管座固定，不要硬插，特殊情况需要将引脚折弯时，应用钳子夹住引脚根部再弯折，而不应直接将管子从根部弯折。

3) 焊接晶体管时，为防止管子过热，电烙铁的功率不要过大，一般选 25 ~ 45W 的为宜，如图 4-38 所示。焊装时间不要过长。晶体管焊装到印制电路板上时，为了避免虚焊，焊前要在引脚上涂锡。在焊接和涂锡时，要用镊子夹住引脚靠近焊点部分或引脚根部，帮助散热。



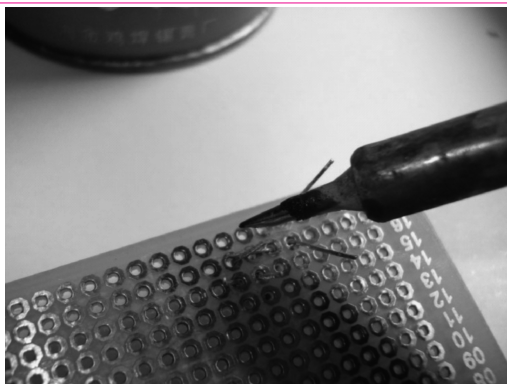


图 4-38 电烙铁焊接晶体管

4) 在电路上拆装晶体管时,要断开电路的电源,再进行拆装焊接,以免损坏晶体管和其他元器件。

5) 为了确保晶体管的使用安全,提高整机的可靠性要求,最好对晶体管的极限参数降额使用。比如,普通型晶体管,功率可降低 30% 使用。

6) 高频电路中使用的晶体管,在接入电路时晶体管引脚应尽量短些,以防止自激。

7) 大功率晶体管在功率驱动电路中使用时一定要加散热片;中小功率晶体管用作功率驱动时也要采用适当的散热措施,如图 4-39 所示。

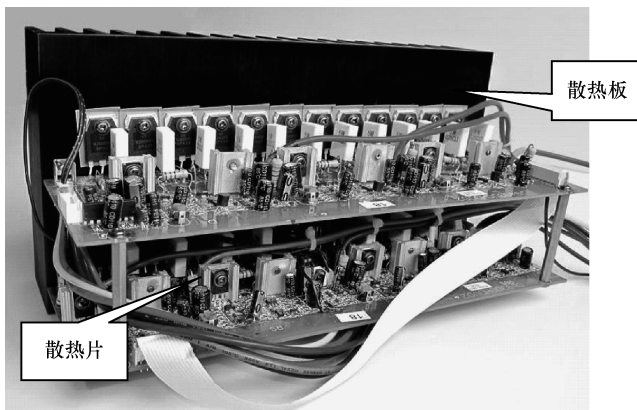


图 4-39 晶体管的散热措施

8) 在使用晶体管时,有时损坏了要及时更换新管。更换晶体管时,原则上要选用与原用晶体管同型号、同规格的管子。焊接时,要先断开电源,并记住损坏管的电极在电路上的排列顺序。

# 第5章

## 晶闸管和场效应晶体管

### 5.1 晶闸管

#### 5.1.1 晶闸管简介

##### 1. 晶闸管的作用

晶闸管是晶体闸流管的简称，又称为可控硅整流器，以前被简称为可控硅。**晶闸管是一种开关器件，只有导通和关断两种工作状态，是典型的小电流控制大电流的器件。**能在高电压、大电流条件下工作，且其工作过程可以控制，被广泛应用于**可控整流、交流调压、无触点电子开关、逆变及变频**等电子电路中。

##### 2. 晶闸管的分类

晶闸管有多种分类方法，常用分类方法及种类见表 5-1。

表 5-1 晶闸管的分类方法及种类

| 序 号 | 分 类 方 法      | 种 类                                                                      |
|-----|--------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 按关断、导通及控制方式分 | 单向晶闸管（也称为普通晶闸管）、双向晶闸管、逆导晶闸管、门极关断（GTO）晶闸管、BTG 晶闸管、温控晶闸管和光控晶闸管等            |
| 2   | 按引脚和极性分      | 二极晶闸管、三极晶闸管和四极晶闸管                                                        |
| 3   | 按封装形式分       | 金属封装晶闸管、塑封晶闸管和陶瓷封装晶闸管。其中，金属封装晶闸管又分为螺栓形、平板形、圆壳形等多种；塑封晶闸管又分为带散热片型和不带散热片型两种 |
| 4   | 按电流量分        | 大功率晶闸管、中功率晶闸管和小功率晶闸管                                                     |
| 5   | 按关断速度分       | 普通晶闸管和高频（快速）晶闸管                                                          |

### 3. 晶闸管的封装形式

晶闸管的封装形式可分为小电流塑封式、小电流螺旋式、大电流螺旋式和大电流平板式，其外形如图 5-1 所示。

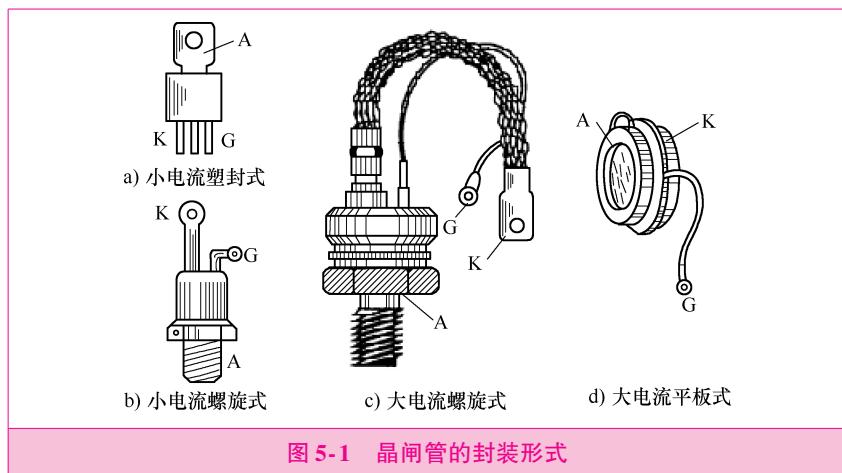


图 5-1 晶闸管的封装形式

#### 【重要提醒】

晶闸管的外形分为螺栓式和平板式两大类。螺栓式结构更换器件很方便，用于 100A 以下的器件。平板式结构散热效果比较好，用于 200A 以上的器件。

### 4. 常用晶闸管介绍

#### (1) 单向晶闸管

单向晶闸管由四层半导体构成，它由单晶硅薄片  $P_1$ 、 $N_1$ 、 $P_2$ 、 $N_2$  四层半导体材料叠成，形成三个 PN 结，三个引出端分别是**阳极 A**、**阴极 K**和**门极 G**。单向晶闸管的阳极与阴极之间具有单向导电的性能，其内部可以等效为由一只 PNP 型晶体管和一只 NPN 型晶体管组成的组合管。其内部结构、等效电路及图形符号如图 5-2 所示。单向晶闸管的工作特点如下：

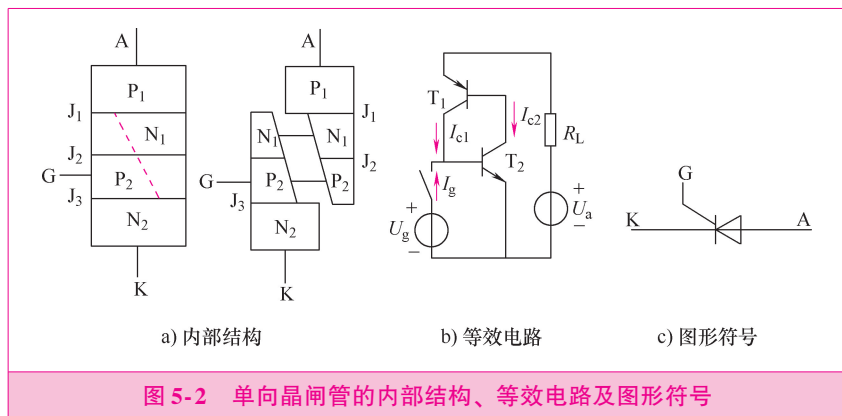


图 5-2 单向晶闸管的内部结构、等效电路及图形符号

1) 单向晶闸管导通必须具备两个条件：一是阳极和阴极间接正向电压；二是门极与阴极间也要接正向电压。

2) 单向晶闸管一旦接通后即使去掉门极电压，单向晶闸管仍然导通。

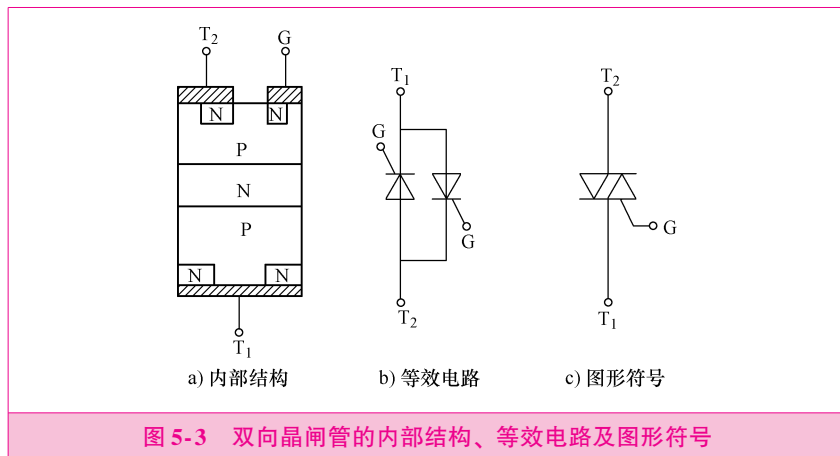
3) 导通后，单向晶闸管要关断，必须将阳极电压降到一定程度，或者阳极电流小于维持电流。

4) 单向晶闸管一旦关断，即使阳极 A 和阴极 K 间又重新加上正向电压，仍需在门极 G 和阴极 K 间重新加上正向触发电压才可再次导通。

5) 单向晶闸管具有控制强电的作用，即利用弱电信号（触发信号）对门极的作用就可使单向晶闸管导通去控制强电系统。

## (2) 双向晶闸管

双向晶闸管由 NPNPN 五层半导体材料构成，相当于两只普通晶闸管反相并联，它也有三个电极，分别是**主电极  $T_1$ 、主电极  $T_2$  和门极 G**。其内部结构、等效电路及图形符号如图 5-3 所示。



双向晶闸管可以**双向导通，即门极加上正或负的触发电压，均能触发双向晶闸管正、反两个方向导通**。一旦导通，即使失去触发电压，也能继续维持导通状态。当主电极  $T_1$ 、 $T_2$  电流减小至维持电流以下或  $T_1$ 、 $T_2$  间电压改变极性，且无触发电压时，双向晶闸管阻断，只有重新施加触发电压，才能再次导通。双向晶闸管的工作特点如下：

1) 在主电极之间加电压而门极无触发信号，双向晶闸管不导通。

2) 无论主电极电压极性如何，在主电极正、反两个方向均可触发双向晶闸管，如图 5-4 所示。

3) 双向晶闸管导通后去除触发信号能继续保持导通，但主电极电压为零时，双向晶闸管自行阻断。此时只有重新加触发电压方可再次导通。由于双向晶闸管具有正、反两个方向都能导通的特性，所以它的输出电压不像单向晶闸管那样是直流，而是交流形式。故称为交流无触点开关。

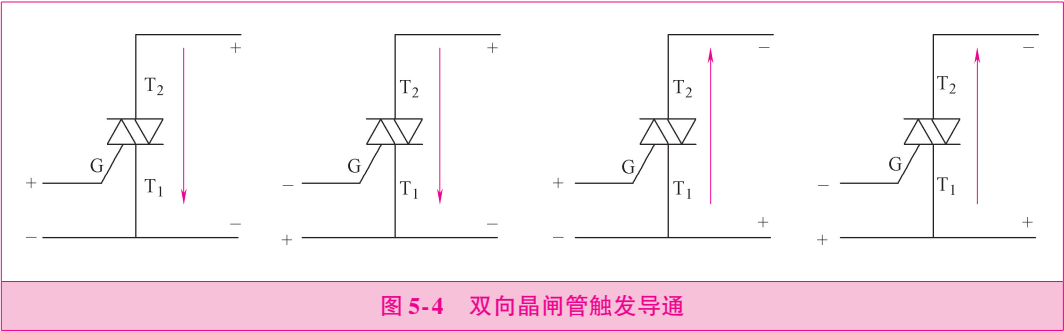


图 5-4 双向晶闸管触发导通

(3) 门极关断晶闸管

以 P 型门极关断晶闸管为例，由 PNPN 四层半导体材料构成，其三个电极分别为**阳极 A**、**阴极 K** 和**门极 G**，其内部结构及图形符号如图 5-5 所示。

门极关断晶闸管也具有单向导电特性，即当其阳极 A、阴极 K 两端为正向电压，在门极 G 上加正的触发电压时，晶闸管将导通，导通方向为 A→K。在门极关断晶闸管导通状态，若在其门极 G 上加一个适当的负电压，则能使导通的晶闸管关断（普通晶闸管在靠门极正电压触发之后，撤掉触发电压也能维持导通，只有切断电源使正向电流低于维持电流或加上反向电压，才能使其关断）。

(4) 光控晶闸管

光控晶闸管俗称光控硅，内部由 PNPN 四层半导体材料构成，可等效为由两只晶体管和一只电容器、一只光敏二极管组成的电路，其内部结构及图形符号如图 5-6 所示。

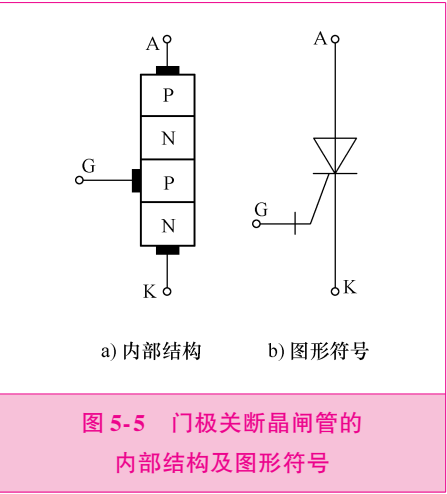


图 5-5 门极关断晶闸管的内部结构及图形符号

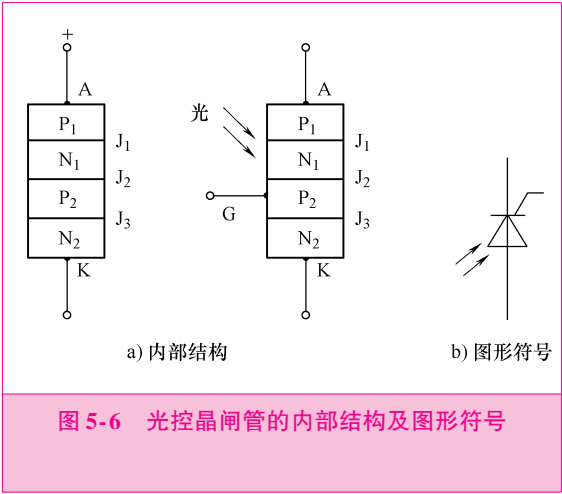


图 5-6 光控晶闸管的内部结构及图形符号

由于光控晶闸管的控制信号来自光的照射，故其只有阳极 A 和阴极 K 两个引出电极，门极为受光窗口（小功率晶闸管）或光导纤维、光缆等。

(5) 逆导晶闸管

逆导晶闸管（RCT）俗称逆导可控硅，它在普通晶闸管的阳极 A 与阴极 K 间反向并联了一只二极管（制作于同一管芯中），其图形符号和等效电路如图 5-7 所示。

逆导晶闸管较普通晶闸管的工作频率高、关断时间短、误动作小，可广泛应用于超声波电路、电磁灶、开关电源、电子镇流器、超导磁能存储系统等领域。

### (6) BTG 晶闸管

BTG 晶闸管也称程控单结晶体管（PUT），是由 PNPN 四层半导体材料构成的三端逆阻型晶闸管，其电路图形符号、内部结构和等效电路如图 5-8 所示。

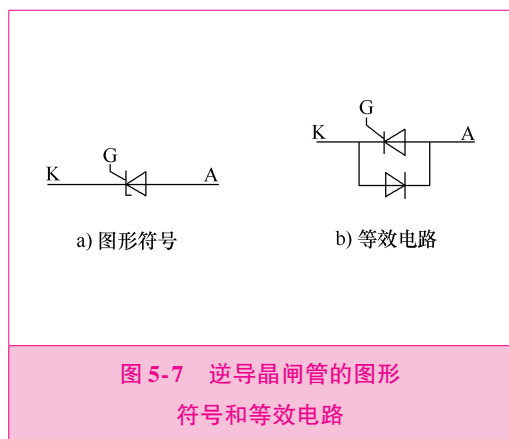


图 5-7 逆导晶闸管的图形符号和等效电路

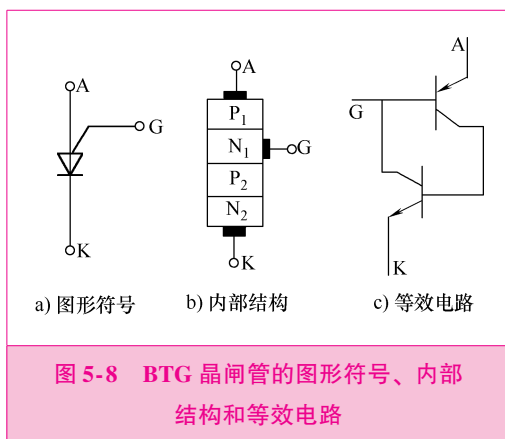


图 5-8 BTG 晶闸管的图形符号、内部结构和等效电路

BTG 晶闸管的参数可调，改变其外部偏置电阻值，即可改变 BTG 晶闸管门极电压和工作电流。它还具有触发灵敏度高、脉冲上升时间短、漏电流小、输出功率大等优点，被广泛应用于可编程脉冲电路、锯齿波发生器、过电压保护器、延时器及大功率晶体管的触发电路中，既可作为小功率晶闸管使用，还可作为单结晶体管使用。

### (7) 温控晶闸管

温控晶闸管是一种新型温度敏感开关器件，它将温度传感器与控制电路结合为一体，输出驱动电流大，可直接驱动继电器等执行部件或直接带动小功率负载。

温控晶闸管的结构与普通晶闸管的结构相似（电路图形符号也与单向晶闸管相同），也是由 PNPN 半导体材料制成的三端器件，但在制作时，温控晶闸管中间的 PN 结中注入了对温度极为敏感的成分（如氚离子），因此改变环境温度，即可改变其特性曲线。

在温控晶闸管的阳极 A 接上正电压，在阴极 K 接上负电压，在门极 G 和阳极 A 之间接入分流电阻，就可以使它在一定温度范围内（通常为  $-40 \sim +130^{\circ}\text{C}$ ）起开关作用。温控晶闸管由断态到通态的转折电压随温度变化而改变，温度越高，转折电压值就越低。

### (8) 四极晶闸管

四极晶闸管也称硅控制开关管（SCS），是一种由 PNPN 四层半导体材料构成的多功能半导体器件，其图形符号、内部结构和等效电路如图 5-9 所示。

四极晶闸管的四个电极分别为阳极 A、阴极 K、阳极门极  $G_A$  和阴极门极  $G_K$ 。若将四极晶闸管的阳极门极  $G_A$  空着不用，则四极晶闸管可以代替普通晶闸管或门极关断晶闸管使用；若将其阴极门极  $G_K$  空着不用，则可以代替 BTG 晶闸管或门极关断晶闸管、单结晶体管使用；若将其阳极门极  $G_A$  与阳极 A 短接，则可以代替逆导晶闸管或 NPN 型硅晶体管使用。

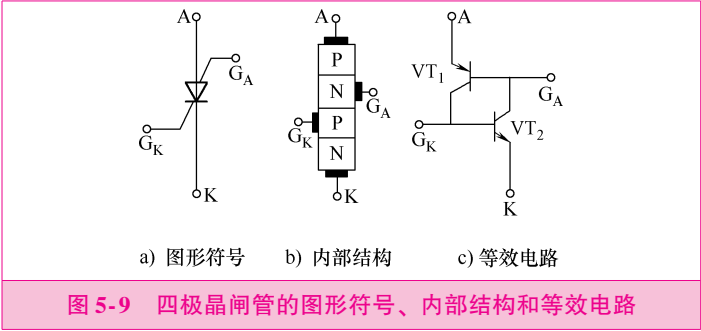


图 5-9 四极晶闸管的图形符号、内部结构和等效电路

5. 晶闸管导通和关断的条件

晶闸管的导通状态，就是两个 PN 结正偏；晶闸管的关断（也称为阻断）状态，就是两个 PN 结反偏。因此，只要通过改变基极电流即可控制晶体管的“开”和“关”。晶闸管的导通与关断状态，相当于开关的闭合和断开状态，用它可以制成无触点电子开关，去控制直流电源电路。晶闸管导通和关断的条件见表 5-2。

表 5-2 晶闸管导通和关断的条件

| 状 态    | 条 件                               | 说 明    |
|--------|-----------------------------------|--------|
| 从关断到导通 | 1) 阳极电位高于阴极电位<br>2) 门极有足够的正向电压和电流 | 两者缺一不可 |
| 维持导通   | 1) 阳极电位高于阴极电位<br>2) 阳极电流大于维持电流    | 两者缺一不可 |
| 从导通到关断 | 1) 阳极电位低于阴极电位<br>2) 阳极电流小于维持电流    | 任一条件即可 |

【重要提醒】

- 1) 晶闸管导通条件是阳极正偏，同时门极也要正偏。
- 2) 晶闸管一旦导通后，门极失去了控制作用，因此门极所加的触发电压一般为脉冲电压。门极触发电流通常只有几十毫安到几百毫安，而晶闸管导通后，可以通过几百安到几千安的电
- 3) 要使导通的晶闸管关断，只有设法使阳极电流  $I_A$  小于维持电流  $I_H$ ，才能使晶闸管关断。
- 4) 如果给晶闸管阳极加反向电压，无论有无门极电压  $U_g$ ，晶闸管都不能导通。

【知识窗】

晶闸管的散热器

晶闸管是大功率器件，工作时会产生大量的热，因此必须安装散热器。

- 1) 螺旋式晶闸管紧固在铝制散热器上，采用自然散热冷却方式，如图 5-10a 所示。



2) 平板式晶闸管由两个彼此绝缘的散热器紧夹在中间，散热方式可以采用风冷或水冷，以获得较好的散热效果，如图 5-10b、c 所示。

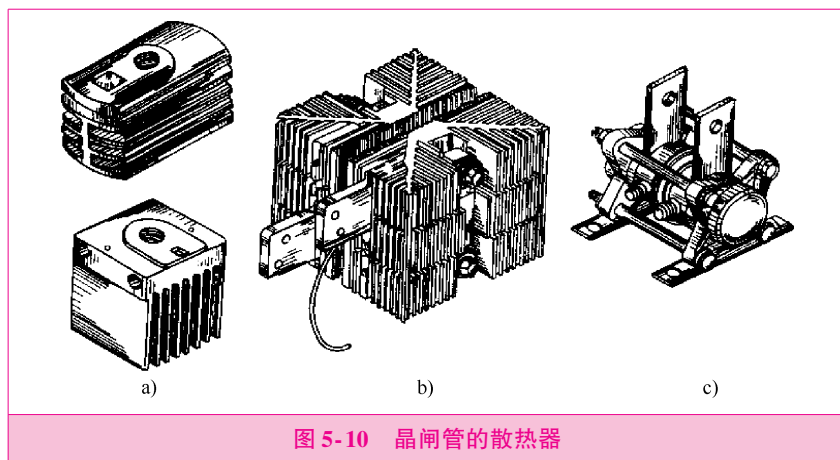


图 5-10 晶闸管的散热器

## 5.1.2 晶闸管的特性与主要参数

### 1. 晶闸管的伏安特性

晶闸管的伏安特性如图 5-11 所示。

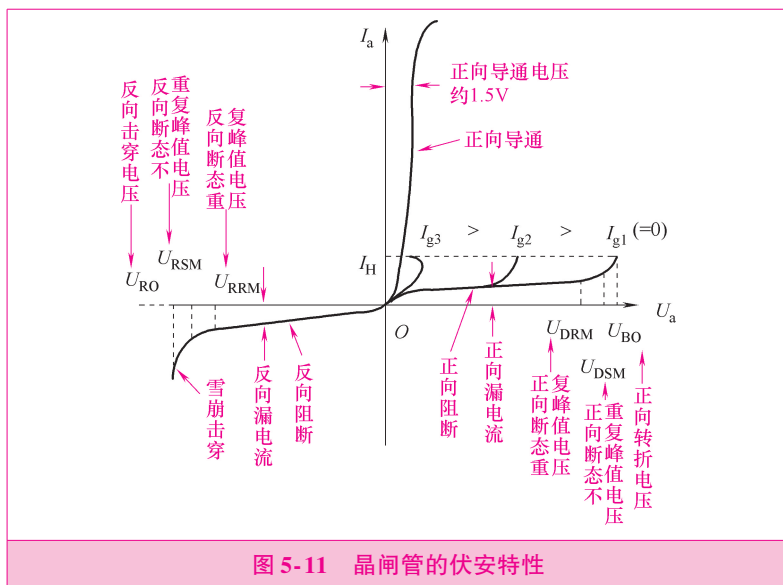


图 5-11 晶闸管的伏安特性

#### (1) 反向特性

在晶闸管上施加反向电压时，伏安特性类似二极管的反向特性，在第三象限。**晶闸管处于反向阻断状态时，只有很小的反向漏电流流过。**当反向电压超过反向击穿电压  $U_{RO}$  后，外电路若 unlimited 措施，则反向漏电流急剧增大，会导致晶闸管反向击穿，造成晶闸管永久性损坏。

## (2) 正向特性

在  $I_g = 0$  时, 给器件两端施加正向电压, 器件处在正向阻断状态, 只有很小的正向漏电流流过, 正向电压继续增大, 当超过临界极限即正向转折电压  $U_{BO}$  时, 则正向漏电流急剧增大, 器件导通。靠这种方式使器件导通称之为“硬导通”。注意多次“硬导通”会使晶闸管损坏。随着门极电流  $I_g$  幅值的增大, 正向转折电压  $U_{BO}$  降低。

晶闸管导通后本身的电压降很小, 在 1V 左右。导通期间, 如果门极电流为零, 并且阳极电流降至接近于零的某一数值  $I_H$  以下, 则晶闸管又回到正向阻断状态。 $I_H$  称为维持电流。

导通后的晶闸管特性和二极管的正向特性相仿。

## 2. 晶闸管的开关特性

晶闸管的开关特性包括开通过程和关断过程。

### (1) 开通过程

晶闸管在满足导通条件之后, 由于管子内部的正反馈建立需要时间 (包括延迟时间  $t_d$ 、上升时间  $t_r$  和开通时间  $t_{gt}$ ), 阳极电流不会马上增大, 而要延迟一段时间, 如图 5-12 所示。

103

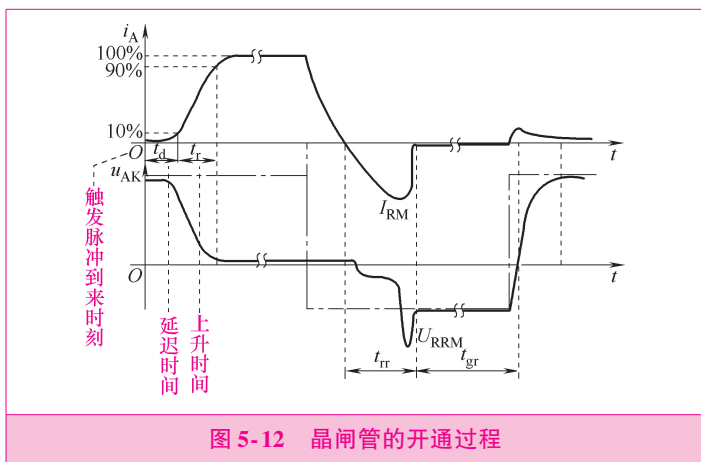


图 5-12 晶闸管的开通过程

普通晶闸管的开通时间  $t_{gt}$  约为  $6\mu s$ 。开通时间与触发脉冲的陡度、电压大小、结温以及主回路中的电感量等有关。

### (2) 关断过程

关断过程包括反向阻断恢复时间  $t_{rr}$  和正向阻断恢复时间  $t_{gr}$ , 如图 5-13 所示。在正向阻断恢复时间内, 如果重新对晶闸管施加正向电压, 晶闸管会重新正向导通。实际应用中, 应对晶闸管施加足够长时间的反向电压, 使晶闸管充分恢复其对正向电压的阻断能力, 电路才能可靠工作。

普通晶闸管的关断时间  $t_q$  约为几十微秒到几百微秒。关断时间与器件结温、关断前阳极电流的大小以及所加反向电压的大小有关。

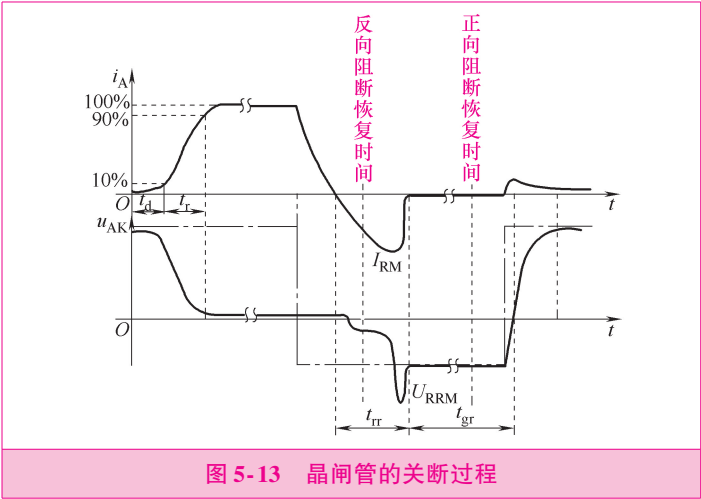


图 5-13 晶闸管的关断过程

### 3. 晶闸管的主要特性参数

#### (1) 重复峰值电压——额定电压

1) 正向重复峰值电压  $U_{DRM}$ 。门极断开 ( $I_g = 0$ )，器件处在额定结温时，正向阳极电压为正向阻断不重复峰值电压  $U_{DSM}$ （此电压不可连续施加）的 80% 所对应的电压（此电压可重复施加，其重复频率为 50Hz，每次持续时间不大于 10ms）。

2) 反向重复峰值电压  $U_{RRM}$ 。器件承受反向电压时，阳极电压为反向不重复峰值电压  $U_{RSM}$  的 80% 所对应的电压。

3) 晶闸管铭牌标注的额定电压通常取  $U_{DRM}$  与  $U_{RRM}$  中的最小值。选用时，额定电压要留有一定裕量，一般为正常工作时晶闸管所承受峰值电压的 2~3 倍。晶闸管额定电压的等级与额定电压见表 5-3。

表 5-3 晶闸管额定电压的等级与额定电压

| 级 别        | 额定电压/V             | 说 明                     |
|------------|--------------------|-------------------------|
| 1、2、3、…、10 | 100、200、300、…、1000 | 1000V 以下，每增加 100V，级别加 1 |
| 12、14、16、… | 1200、1400、1600、…   | 1200V 以上，每增加 200V，级别加 2 |

#### (2) 额定通态平均电流——额定电流

在环境温度为 40℃ 和规定的冷却条件下，晶闸管在阻性负载且导通角不小于 170° 的单相工频正弦半波电路中，当结温稳定且不超过额定结温时所允许的最大通态平均电流称为额定电流。

在选用晶闸管额定电流时，根据实际最大的电流计算后至少还要乘以 1.5~2 的安全系数，使其有一定的电流裕量。

#### (3) 通态电流临界上升率

晶闸管能承受而没有损害影响的最大通态电流上升率称为通态电流临界上升率。

门极流入触发电流后，晶闸管开始只在靠近门极附近的小区域内导通，随着时间的推移，导通区域才逐渐扩大到 PN 结的全部面积。如果通态电流临界上升率很大，就会在较

小的开通结面上通过很大的电流，引起局部结面过热使晶闸管烧坏，因此在晶闸管导通过程中对通态电流临界上升率也要有一定的限制。

(4) 断态电压临界上升率

把在规定条件下，不导致晶闸管直接从断态转换到通态的最大阳极电压上升率，称为断态电压临界上升率。

晶闸管的结面在阻断状态下相当于一个电容，若突然加一正向阳极电压，便会有一个充电电流流过结面，该充电电流流经靠近阴极的 PN 结 ( $J_3$  结) 时，产生相当于触发电流的作用，如果这个电流过大，将会使器件误触发导通。

5.1.3 晶闸管的检测

1. 单向晶闸管的检测

(1) 判别引脚

将指针式万用表置于  $R \times 1$  或  $R \times 10$  档，测量晶闸管任意两脚间的电阻，当指示为低阻值时，黑表笔所接的是门极 G，红表笔所接的是阴极 K，余下的一个脚为阳极 A，其他情况下阻值均应为无穷大，否则该管可能是坏的。

(2) 触发检测

如图 5-14 所示，万用表置于  $R \times 1$  或  $R \times 10$  档，将黑表笔接阳极 A，红表笔接阴极 K，万用表应指示不导通（零偏）；此时如果让门极 G 接触一下黑表笔，万用表应指示导通（接近满偏）；即使断开门极 G，只要阳极 A 和阴极 K 保持与表笔接触，就能一直维持导通状态。如果上述测量过程不能顺利进行，说明该管是坏的。

大功率普通晶闸管由于其触发电流和维持电流较大，超出万用表欧姆档输出的电流值，因此不能触发。可在表外串联一只 1.5V 的电池，再按上述方法测量，一般可以触发，如图 5-15 所示。

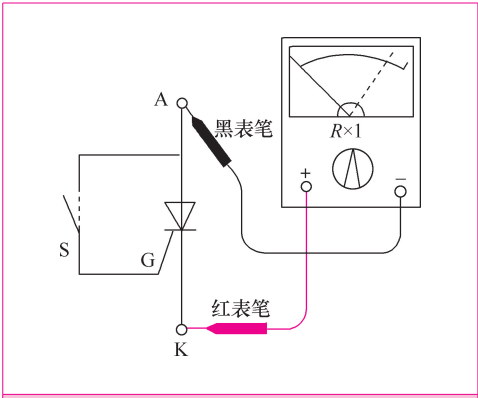


图 5-14 测量小功率单向晶闸管的触发能力

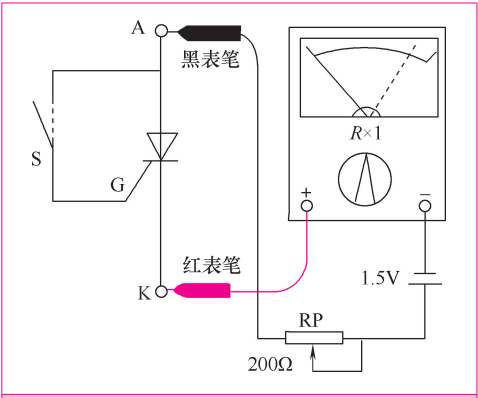


图 5-15 测量大功率单向晶闸管的触发能力

【重要提醒】

根据封装形式也可以快速判断出单向晶闸管的各个电极，图 5-16 所示为几种常用单

向晶闸管的引脚排列。

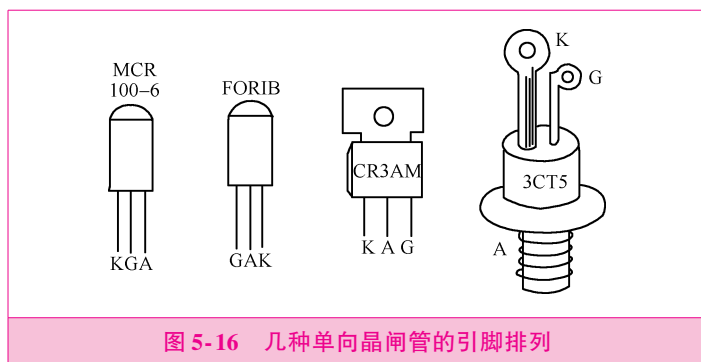


图 5-16 几种单向晶闸管的引脚排列

1) 螺栓式单向晶闸管的螺栓一端为阳极 A，较细的引线端为门极 G，较粗的引线端为阴极 K。

2) 平板式单向晶闸管的引出线端为门极 G，平面端为阳极 A，另一端为阴极 K。

3) 金属壳封装（TO-3）的单向晶闸管，其外壳为阳极 A。

4) 塑封（TO-220）的单向晶闸管的中间引脚为阳极 A，且多与自带散热片相连。

## 2. 双向晶闸管的检测

### (1) 判别引脚

将万用表置于  $R \times 1$  或  $R \times 10$  档，测量晶闸管任意两引脚间的电阻，其中正、反向都导通时，两个被测引脚分别为 G、 $T_2$ ；另一个引脚为  $T_1$ ， $T_1$  与 G 或  $T_2$  之间，应该是正、反向都不通，否则该管可能是坏的。G 与  $T_2$  要通过导通后电阻值的大小来识别，即分别测量 G 与  $T_2$  之间的正、反向电阻，在阻值较小（电阻值在  $10\Omega$  左右）的一次测量中，红表笔所接的是门极 G，如图 5-17a 所示。

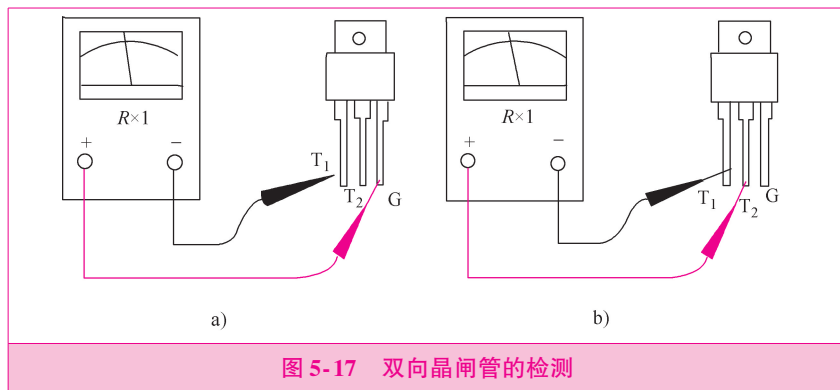


图 5-17 双向晶闸管的检测

### (2) 触发检测

将万用表置于  $R \times 1$  或  $R \times 10$  档，将黑表笔接  $T_1$ ，红表笔接  $T_2$ ，万用表应指示为不通（零偏）；此时如果让门极 G 接触一下  $T_1$ （黑表笔），万用表应指示导通（接近满偏）；即使断开门极 G，只要  $T_1$  和  $T_2$  保持与表笔接触，就能一直维持导通状态，如图 5-17b 所示；

调换红黑表笔，重复上述测量，注意此时 G 仍要接触 T<sub>1</sub>（红表笔），如果上述测量过程不能顺利进行，说明该管是坏的。

注意：大功率双向晶闸管由于其触发电流和维持电流较大，超出万用表欧姆档输出的电流值，因此不能触发。可在表外串联一只 1.5V 电池，再按上述方法测量，一般可以触发。

3. 逆导晶闸管的检测

利用万用表和绝缘电阻表可以检查逆导晶闸管的好坏。测试内容主要分三项。

(1) 检查逆导性

选择万用表  $R \times 1$  档，黑表笔接 K 极，红表笔接 A 极，电阻值应为  $5 \sim 10\Omega$ ，如图 5-18a 所示。若阻值为零，说明内部二极管短路；若阻值为无穷大，说明二极管开路。

(2) 测量正向直流转折电压  $V_{BO}$

按照图 5-18b 接好电路，再按额定转速摇绝缘电阻表，使逆导晶闸管正向击穿，由直流电压表上读出  $V_{BO}$  值。

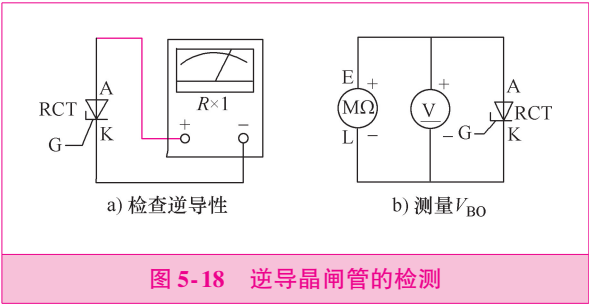


图 5-18 逆导晶闸管的检测

(3) 检查触发能力

例如，用 500 型万用表和 ZC25-3 型 500V 绝缘电阻表测量一只 S3900MF 型逆导晶闸管。依次选择  $R \times 1k$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 10$  和  $R \times 1$  档测量 A-K 极间的反向电阻，同时用读取电压法求出内部二极管的反向导通电压  $V_{TR}$ （实际是二极管正向电压  $V_F$ ）。再用绝缘电阻表和万用表 500V 直流档测得  $V_{BO}$  值。全部数据见表 5-4。由此证明被测逆导晶闸管质量良好。

表 5-4 S3900MF 型逆导晶闸管测试结果

| 万用表档位          | 绝缘电阻表  | 电阻值/ $\Omega$ | $n'$ (格) | $V_{TR}/V$ | $V_{BO}/V$ |
|----------------|--------|---------------|----------|------------|------------|
| $R \times 1k$  | —      | 2.6k          | 10       | 0.3        | —          |
| $R \times 100$ | —      | 360           | 13       | 0.39       | —          |
| $R \times 10$  | —      | 52            | 17       | 0.51       | —          |
| $R \times 1$   | —      | 8             | 22       | 0.66       | —          |
| —              | ZC25-3 | 10M           | —        |            | 320        |

注： $V_{TR} = 0.03n'(V)$ 。

4. 光控晶闸管的检测

1) 用万用表检测小功率光控晶闸管时，可将万用表置于  $R \times 1$  档，在黑表笔上串接

1~3 节 1.5V 干电池，测量两引脚之间的正、反向电阻值，正常时均应为无穷大。

然后，再用小手电筒或激光笔照射光控晶闸管的受光窗口，此时应能测出一个较小的正向电阻值，但反向电阻值仍为无穷大。在较小电阻值的一次测量中，黑表笔接的是阳极 A，红表笔接的是阴极 K。

2) 我们也可用如图 5-19 所示电路对光控晶闸管进行测量。接通电源开关 S，用手电筒照射晶闸管的受光窗口、为其加上触发光源（大功率光控晶闸管自带光源，只要将其光缆中的发光二极管或半导体激光器加上工作电压即可，不用外加光源）后，指示灯应点亮，撤离光源后指示灯应维持发光。

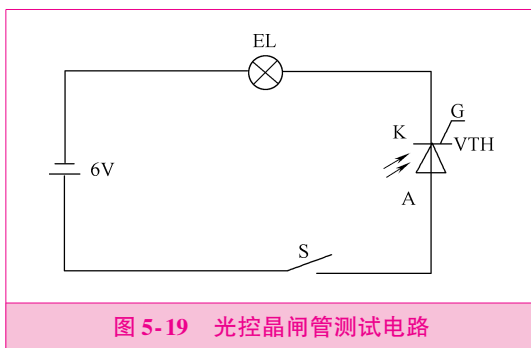


图 5-19 光控晶闸管测试电路

若接通电源开关 S 后（尚未加光源），指示灯即点亮，则说明被测晶闸管已击穿短路。若接通电源开关并加上触发光源后，指示灯仍不亮，在被测晶闸管电极连接正确的情况下，则说明该晶闸管内部损坏。若加上触发光源后，指示灯发光，但取消光源后指示灯即熄灭，则说明该晶闸管触发性能不良。

## 5.1.4 晶闸管的应用

### 1. 晶闸管的选用

#### (1) 选择晶闸管的类型

晶闸管有多种类型，应根据应用电路的具体要求合理选用。

1) 若用于交直流电压控制、可控整流、交流调压、逆变电源、开关电源保护电路等，可选用单向晶闸管。

2) 若用于交流开关、交流调压、交流电动机线性调速、灯具线性调光及固态继电器、固态接触器等电路，可选用双向晶闸管。

3) 若用于交流电动机变频调速、斩波器、逆变电源及各种电子开关电路等，可选用门极关断晶闸管。

4) 若用于锯齿波发生器、长时间延时器、过电压保护器及大功率晶体管触发电路等，可选用 BTG 晶闸管。

5) 若用于电磁灶、电子镇流器、超声波电路、超导磁能储存系统及开关电源等电路，可选用逆导晶闸管。

6) 若用于光耦合器、光探测器、光报警器、光计数器、光电逻辑电路及自动生产线



的运行监控电路,可选用光控晶闸管。

### (2) 选择晶闸管的主要参数

**晶闸管的主要参数应根据应用电路的具体要求而定。**

1) 所选晶闸管应留有一定的功率裕量,其额定峰值电压和额定电流(通态平均电流)均应高于受控电路最大工作电压和最大工作电流的1.5~2倍。

2) 晶闸管的正向电压降、门极触发电流及触发电压等参数应符合应用电路(指门极的控制电路)的各项要求,不能偏高或偏低,否则会影响晶闸管的正常工作。

### 2. 晶闸管的代换

晶闸管损坏后,最好是用同类型、同型号、同特性的晶闸管更换。若无同型号的晶闸管更换,可以选用与其性能参数相近的其他型号晶闸管来代换。

在更换晶闸管时,只要注意其额定峰值电压(重复峰值电压)、额定电流(通态平均电流)、门极触发电压和门极触发电流即可,尤其是额定峰值电压与额定电流这两个指标。

代换晶闸管应与损坏晶闸管的开关速度一致。例如,在脉冲电路、高速逆变电路中使用的高速晶闸管损坏后,只能选用同类型的快速晶闸管,而不能用普通晶闸管来代换。

选取代用晶闸管时,不管什么参数,都不必留有过的裕量,应尽可能与被代换晶闸管的参数相近,因为过大的裕量不仅是一种浪费,而且有时还会起副作用,出现不触发或触发不灵敏等现象。

另外,还要注意两个晶闸管的外形要相同,否则会给安装工作带来不利。

### 3. 晶闸管整流电路

晶闸管的典型应用是构成可控整流电路,常用的有**单相桥式整流电路和三相桥式整流电路**。

#### (1) 晶闸管单相桥式整流电路

**单相桥式整流电路包括阻性负载和大电感负载两种应用情况**,如图5-20所示。

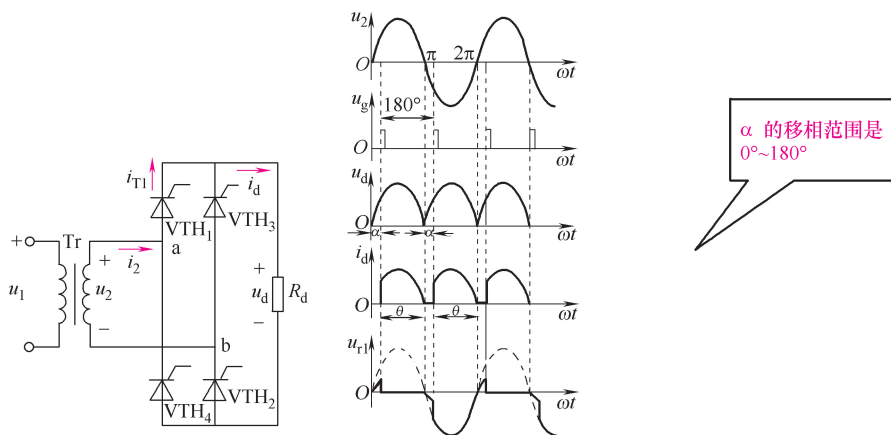
单相桥式整流电路在大电感负载时若不接续流二极管,可能会发生失控现象。消除失控现象的措施是并接续流二极管,如图5-20b所示。当接上续流二极管后,当电压 $u_2$ 降到0时,负载电流经续流二极管续流,整流桥输出端只有不到1V的电压降,迫使晶闸管与二极管串联电路中的电流降到晶闸管的维持电流以下,使晶闸管关断,这样就不会出现失控现象。

#### (2) 晶闸管三相桥式整流电路带电阻负载

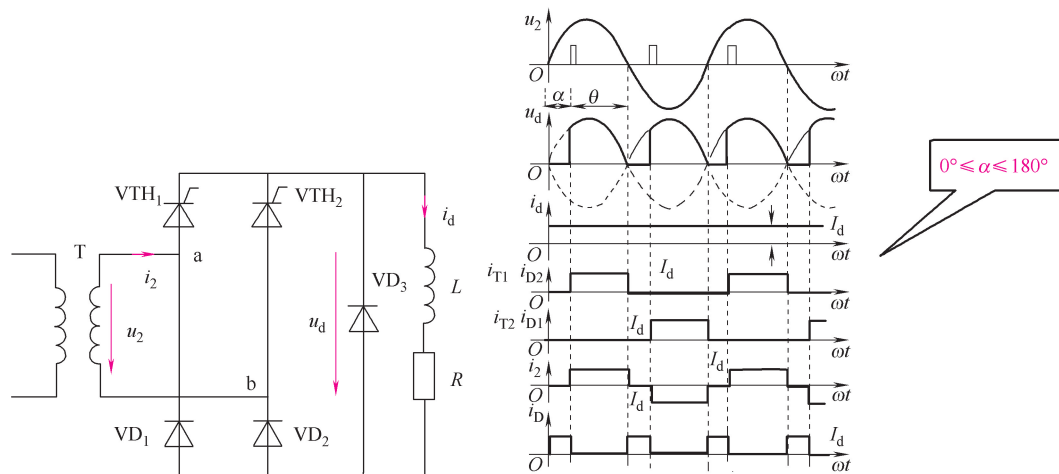
晶闸管三相桥式整流电路带电阻负载如图5-21所示。

1) 每个时刻均需两个不同组的晶闸管同时导通,形成向负载供电的回路,其中一个晶闸管是共阴极组的,另一个是共阳极组的,且不能为同一相的晶闸管。

2) 对触发脉冲的要求:六个晶闸管的触发脉冲(相位依次差 $60^\circ$ )分别触发晶闸管 $V_{TH1} \rightarrow V_{TH2} \rightarrow V_{TH3} \rightarrow V_{TH4} \rightarrow V_{TH5} \rightarrow V_{TH6}$ ;共阴极组 $V_{TH1}$ 、 $V_{TH3}$ 、 $V_{TH5}$ 的触发脉冲依次相差 $120^\circ$ ,共阳极组 $V_{TH2}$ 、 $V_{TH4}$ 、 $V_{TH6}$ 的触发脉冲也依次差 $120^\circ$ ,同一相的上下两个桥臂,即 $V_{TH1}$ 与 $V_{TH4}$ , $V_{TH3}$ 与 $V_{TH6}$ , $V_{TH5}$ 与 $V_{TH2}$ 脉冲相差 $180^\circ$ 。



a) 单相桥式相控整流电路(阻性负载)



b) 单相桥式整流电路(大电感负载)

图 5-20 单相桥式整流电路

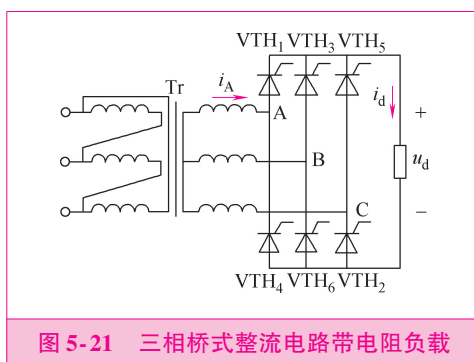


图 5-21 三相桥式整流电路带电阻负载

3) 全控桥触发脉冲类型有以下两种：

宽脉冲触发——使脉冲宽度大于  $60^\circ$ （一般取  $80^\circ \sim 100^\circ$ ）。

双脉冲触发——（常采用）用两个窄脉冲代替宽脉冲，两个窄脉冲的前沿相差  $60^\circ$ ，脉宽一般为  $20^\circ \sim 30^\circ$ 。

4) 带电阻负载时三相桥式全控整流电路  $\alpha$  的移相范围是  $120^\circ$ 。

5) 晶闸管承受的最大正、反向电压为  $U_{TM} = \sqrt{6}U_2$ 。

6) 由于是电阻性负载，负载电流波形与负载电压波形相同。

### (3) 晶闸管三相桥式整流电路带大电感负载

带大电感负载的三相全控桥式整流电路如图 5-22 所示。

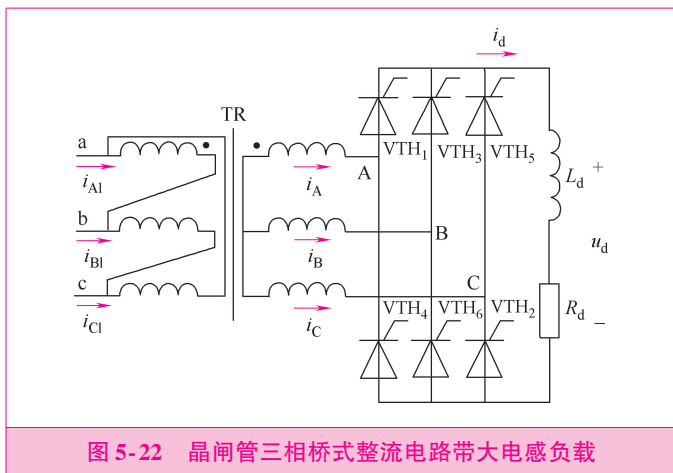


图 5-22 晶闸管三相桥式整流电路带大电感负载

1) 在  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  范围内负载，电流连续，负载上承受的是线电压；而线电压超前于相电压  $30^\circ$ 。

2) 在三相全控桥式整流电路中，晶闸管换流只在本组内进行，每隔  $120^\circ$  换流一次，即在电流连续的情况下，每个晶闸管的导通角  $\theta_T = 120^\circ$ 。

3) 当整流变压器采用星形联结，带电感性负载时，变压器二次电流波形为正、负半周各宽  $120^\circ$ 、前沿相差  $180^\circ$  的矩形波。

4) 晶闸管承受的最大电压为  $\sqrt{6}U_2$ 。

## 5.2 场效应晶体管

### 5.2.1 场效应晶体管简介

#### 1. 场效应晶体管的作用

场效应晶体管（FET）简称场效应管，也称为单极型晶体管，其作用如下：

1) 场效应晶体管可应用于**放大**。由于场效应晶体管放大器的输入阻抗很高，因此耦合电容容量可以较小，不必使用电解电容器。

2) 场效应晶体管很高的输入阻抗非常适合作**阻抗变换**。常用于多级放大器的输入级作阻抗变换。

- 3) 场效应晶体管可以用作可变电阻。
- 4) 场效应晶体管可以方便地用作恒流源。
- 5) 场效应晶体管可以用作电子开关。

2. 场效应晶体管的特点

场效应晶体管是根据晶体管的原理开发出的新一代放大器件，有三个极性（栅极、漏极、源极），它的特点是栅极的内阻极高（采用二氧化硅材料的可以达到几百兆欧）、噪声小、功耗低、动态范围大、易于集成、没有二次击穿现象、安全工作区域宽等优点。场效应晶体管现已成为双极型晶体管和功率晶体管的强大竞争者。

3. 场效应晶体管的分类

场效应晶体管可分为结型场效应晶体管和绝缘栅型场效应晶体管，而绝缘栅型场效应晶体管又分为 N 沟道耗尽型和增强型、P 沟道耗尽型和增强型四大类，如图 5-23 所示。

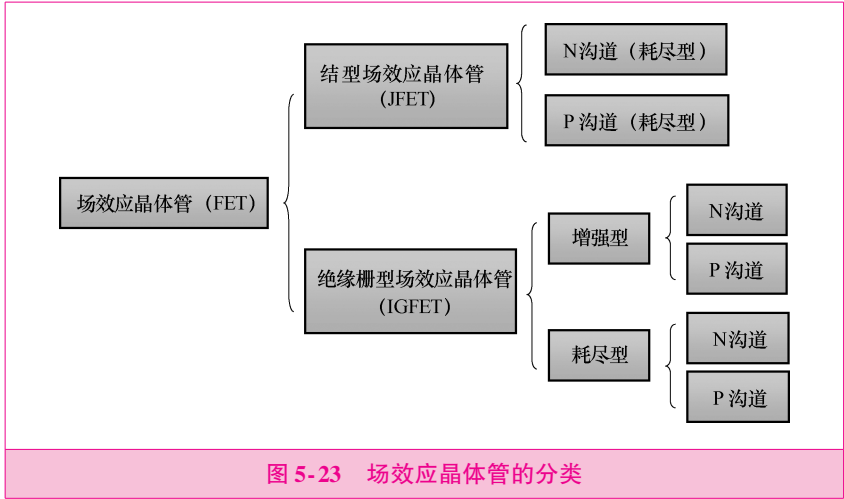


图 5-23 场效应晶体管的分类

目前应用最为广泛的是绝缘栅型场效应晶体管，简称 MOS 管（即金属-氧化物-半导体场效应晶体管（MOSFET））；此外还有 PMOS、NMOS 和 VMOS 功率场效应晶体管，以及  $\pi$ MOS 场效应晶体管、VMOS 功率模块等。

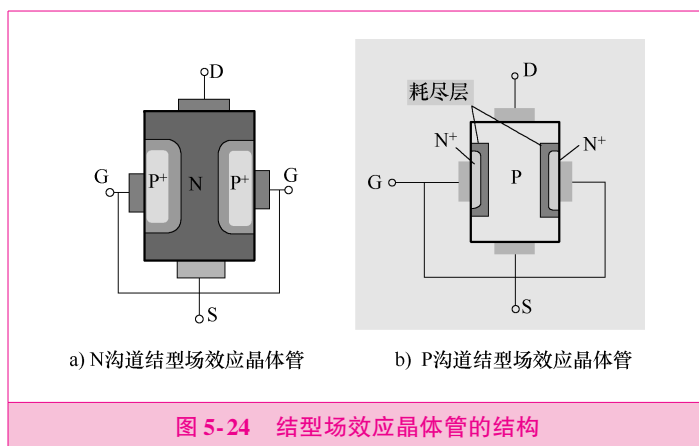
【重要提醒】

结型场效应晶体管（JFET）因有两个 PN 结而得名；绝缘栅型场效应晶体管（IGFET）则因栅极与其他电极完全绝缘而得名。

4. 场效应晶体管的结构及电路符号

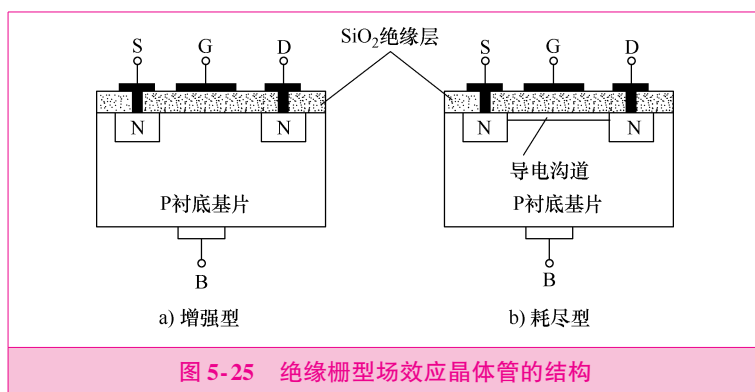
在一块 N 型半导体材料的两边各扩散一个高杂质浓度的 P 区，就形成两个不对称的 PN 结，即耗尽层。把两个 P 区并联在一起，引出一个电极 G，称为栅极，在 N 型半导体的两端各引出一个电极，分别称为源极 S 和漏极 D（它们分别与晶体管的基极 B、发射极 E 和集电极 C 相对应）。夹在两个 PN 结中间的 N 区是电流的通道，称为导电沟道（简称沟道）。这种结构的管子称为 N 沟道结型场效应晶体管，如图 5-24a 所示；如果在一块 P

型半导体的两边各扩散一个高杂质浓度的 N 区，就可以制成一个 P 沟道结型场效应晶体管，其结构如图 5-24b 所示。

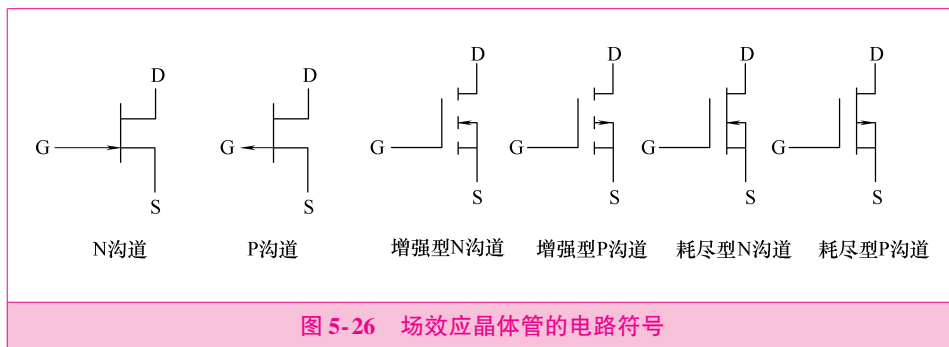


绝缘栅型场效应晶体管的结构如图 5-25 所示。它和结型场效应晶体管在结构上的主要不同之处在于，它的栅极是从  $\text{SiO}_2$  上引出的，栅极与源极和漏极是绝缘的。

113



场效应晶体管在电路原理图中常用字母“VF”表示，在电路原理图中的符号如图 5-26 所示。



### 【重要提醒】

场效应晶体管的图形符号中的箭头，是用来区分类型的。箭头从外指向芯片表示 N 沟道场效应晶体管；箭头从芯片指向外表示 P 沟道场效应晶体管。

### 【知识窗】

#### 场效应晶体管与晶体管的比较

1) 场效应晶体管是电压控制器件，而晶体管是电流控制器件。在只允许从信号源取较小电流的情况下，应选用场效应晶体管；而在信号电压较低，又允许从信号源取较多电流的条件下，应选用晶体管。

2) 场效应晶体管是利用多数载流子导电，所以称之为单极型器件，而晶体管是既利用多数载流子，也利用少数载流子导电，被称之为双极型器件。

3) 一些场效应晶体管的源极和漏极可以互换使用，栅压也可正可负，灵活性比晶体管好。

4) 场效应晶体管能在很小电流和很低电压的条件下工作，而且它的制造工艺可以很方便地把很多场效应晶体管集成在一块硅片上。

#### 5. 场效应晶体管的命名方法

现行有两种命名方法。第一种命名方法与双极型晶体管相同，第三位字母 J 代表结型场效应晶体管，O 代表绝缘栅型场效应晶体管。第二位字母代表材料，D 是 P 型硅，反型层是 N 沟道；C 是 N 型硅 P 沟道。例如，3DJ6D 是结型 N 沟道场效应晶体管，3DO6C 是绝缘栅型 N 沟道场效应晶体管。

第二种命名方法是 CS × × #，CS 代表场效应晶体管，× × 以数字代表型号的序号，# 用字母代表同一型号中的不同规格。例如 CS14A、CS45G 等。

#### 6. 场效应晶体管的工作原理

##### (1) 截止

如图 5-27 所示，栅源电压  $U_{GS} \leq 0$  或  $0 < U_{GS} \leq U_T$  时（ $U_T$  为开启电压，又叫阈值电压），漏极（D）与源极（S）之间相当于两个反向串联的二极管，不能形成导电沟道。所以  $I_D = 0$ ，VDMOS 是关断的。

##### (2) 导通

如图 5-28 所示，当  $U_{GS} > U_T$  时，栅极下面的 P 型体区发生反型而形成导电沟道。若加至漏极电压  $U_{DS} > 0$ ，则会产生漏极电流  $I_D$ ，VDMOS 开通。

#### 7. 场效应晶体管的主要参数

##### (1) 通态电阻 $R_{on}$

在确定的栅压  $U_{GS}$  下，VDMOS 由可调电阻区进入饱和区时漏极至源极间的直流电阻称为通态电阻  $R_{on}$ 。 $R_{on}$  是影响最大输出功率的重要参数。

在相同条件下，耐压等级越高的器件，其  $R_{on}$  值越大。另外， $R_{on}$  随  $I_D$  的增加而增加，随  $U_{GS}$  的升高而减小。

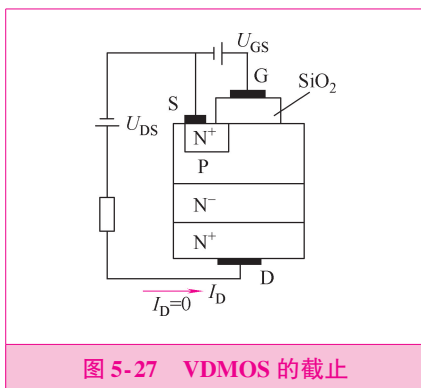


图 5-27 VDMOS 的截止

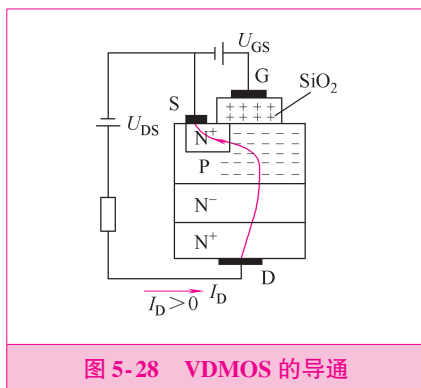


图 5-28 VDMOS 的导通

### (2) 阈值电压 $U_T$

沟道体区表面发生强反型所需的最低栅极电压称为 VDMOS 的阈值电压。一般情况下将漏极短接条件下， $I_D = 1\text{mA}$  时的栅极电压定义为  $U_T$ 。实际应用时， $U_{GS} = (1.5 \sim 2.5) U_T$ ，以利于获得较小的沟道压降。

$U_T$  还与结温  $T_j$  有关， $T_j$  升高， $U_T$  将下降（大约  $T_j$  每增加  $45^\circ\text{C}$ ， $U_T$  下降  $10\%$ ，其温度系数为  $-6.7\text{mV}/^\circ\text{C}$ ）。

### (3) 跨导 $g_m$

跨导  $g_m$  定义为  $g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$

跨导表示  $U_{GS}$  对  $I_D$  的控制能力的大小。实际中高跨导的管子具有更好的频率响应。

### (4) 漏源击穿电压 $U_{B(DS)}$

$U_{B(DS)}$  决定了 VDMOS 的最高工作电压，它是为了避免器件进入雪崩区而设立的极限参数。

### (5) 栅源击穿电压 $U_{B(GS)}$

$U_{B(GS)}$  是为了防止绝缘栅层因栅源间电压过高发生介电击穿而设立的参数。一般  $U_{B(GS)} = \pm 20\text{V}$ 。

### (6) 最大漏极电流 $I_{DM}$

$I_{DM}$  表征器件的电流容量。当  $U_{GS} = 10\text{V}$ ， $U_{DS}$  为某一数值时，漏源间允许通过的最大电流称为最大漏极电流。

### (7) 最高工作频率 $f_m$

定义为

$$f_m = \frac{g_m}{2\pi C_{IN}}$$

式中， $C_{IN}$  为器件的输入电容。

### (8) 开关时间 $t_{on}$ 与 $t_{off}$

1) 开通时间： $t_{on} = t_d + t_r$

延迟时间  $t_d$ ：对应输入电压信号上升沿幅度为  $10\% U_{im}$  到输出电压信号下降沿幅度为  $10\% U_{om}$  的时间间隔。



上升时间  $t_r$ ：对应输出电压幅度由  $10\% U_{om}$  变化到  $90\% U_{om}$  的时间，这段时间对应于  $U_i$  向器件输入电容充电的过程。

2) 关断时间： $t_{off} = t_s + t_f$

存储时间  $t_s$ ：对应栅极电容存储电荷的消失过程。

下降时间  $t_f$ ：在 VDMOS 中， $t_{on}$  和  $t_{off}$  都可以控制得比较小，因此器件的开关速度相当高。

VDMOS 的开通时间和关断时间均为数十纳秒。

## 5.2.2 场效应晶体管的检测及好坏判断

### 1. 结型场效应晶体管的检测

#### (1) 引脚识别

场效应晶体管的栅极相当于晶体管的基极，源极和漏极分别对应于晶体管的发射极和集电极。将万用表置于  $R \times 1k$  档，用两表笔分别测量每两个引脚间的正、反向电阻。当某两个引脚间的正、反向电阻相等，均为数千欧时，则这两个引脚为漏极 D 和源极 S（可互换），余下的一个引脚即为栅极 G。

#### 【重要提醒】

对于有四个引脚的结型场效应晶体管，另外一极是屏蔽极（使用中接地）。

#### (2) 判定栅极

用万用表黑表笔碰触管子的一个电极，红表笔分别碰触另外两个电极。若两次测出的阻值都很小，说明均是正向电阻，该管属于 N 沟道场效应晶体管，黑表笔接的也是栅极。

制造工艺决定了场效应晶体管的源极和漏极是对称的，可以互换使用，并不影响电路的正常工作，所以不必加以区分。源极与漏极间的电阻约为几千欧。

#### 【重要提醒】

注意不能用此法判定绝缘栅型场效应晶体管的栅极。因为这种管子的输入电阻极高，栅源间的极间电容又很小，测量时只要有少量的电荷，就可在极间电容上形成很高的电压，容易将管子损坏。

#### (3) 估测场效应晶体管的放大能力

将万用表拨到  $R \times 100$  档，红表笔接源极 S，黑表笔接漏极 D，相当于给场效应晶体管加上 1.5V 的电源电压。这时指针指示出的是 D-S 极间电阻值。然后用手指捏栅极 G，将人体的感应电压作为输入信号加到栅极上。由于管子的放大作用， $U_{ds}$  和  $I_d$  都将发生变化，也相当于 D-S 极间电阻发生变化，可观察到指针有较大幅度的摆动。如果手捏栅极时指针摆动很小，说明管子的放大能力较弱；若指针不动，说明管子已经损坏。

由于人体感应的 50Hz 交流电压较高，而不同的场效应晶体管用欧姆档测量时的工作点可能不同，因此用手捏栅极时指针可能向右摆动，也可能向左摆动。少数的管子  $R_{ds}$  减小，使指针向右摆动，多数管子的  $R_{ds}$  增大，指针向左摆动。无论指针的摆动方向如何，只要能明显地摆动，就说明管子具有放大能力。

【重要提醒】

本方法也适用于测绝缘栅型场效应晶体管。为了保护绝缘栅型场效应晶体管，必须用手握住螺丝刀绝缘柄，用金属杆去碰栅极，以防止人体感应电荷直接加到栅极上，将管子损坏。

绝缘栅型场效应晶体管每次测量完毕，G-S 结电容上会充有少量电荷，建立起电压  $U_{GS}$ ，再接着测时指针可能不动，此时将 G-S 极间短路一下即可。

目前常用的结型场效应晶体管和绝缘栅型场效应晶体管的引脚顺序如图 5-29 所示。

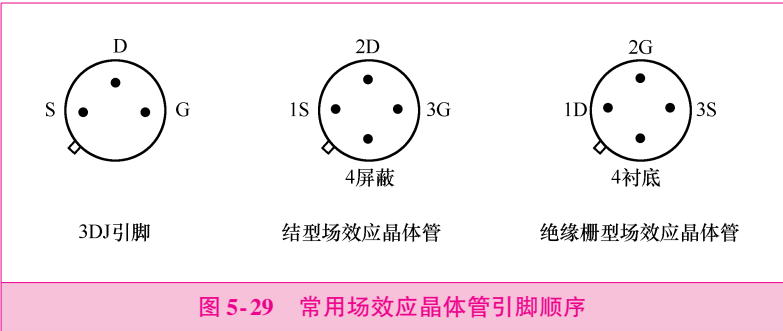


图 5-29 常用场效应晶体管引脚顺序

2. 绝缘栅型场效应晶体管的检测

(1) 判定电极

将万用表拨于  $R \times 100$  档，首先确定栅极。若某引脚与其他引脚的电阻都是无穷大，证明此引脚就是栅极 G。交换表笔重测量，S-D 极间的电阻值应为几百欧至几千欧，其中阻值较小的那一次，黑表笔接的为 D 极，红表笔接的是 S 极。

日本生产的 3SK 系列产品，S 极与管壳接通，据此很容易确定 S 极。

(2) 检查放大能力（跨导）

将 G 极悬空，黑表笔接 D 极，红表笔接 S 极，然后用手指触摸 G 极，指针应有较大的偏转。双栅 MOS 场效应晶体管有两个栅极  $G_1$ 、 $G_2$ 。为区分之，可用手分别触摸  $G_1$ 、 $G_2$  极，其中指针向左侧偏转幅度较大的为  $G_2$  极。

【重要提醒】

测量绝缘栅型场效应晶体管之前，先在手腕上接一条导线与大地连通，使人体与大地保持等电位，以便静电击穿绝缘栅型场效应晶体管。

3. VMOS 场效应晶体管的检测

(1) 判定栅极 G

将万用表拨至  $R \times 1k$  档，分别测量三个引脚之间的电阻。若发现某引脚与其他两引脚的电阻均呈无穷大，并且交换表笔后仍为无穷大，则证明此引脚为 G 极，因为它和另外两个引脚是绝缘的。

(2) 判定源极 S、漏极 D

由于在 S-D 极间有一个 PN 结，因此根据 PN 结正、反向电阻存在差异，可识别 S 极

与 D 极。交换表笔法测两次电阻，其中电阻值较低（一般为几千欧至十几千欧）的一次为正向电阻，此时黑表笔接的是 S 极，红表笔接的是 D 极。

### （3）测量漏-源通态电阻 $R_{DS(on)}$

将 G-S 极短路，选择万用表的  $R \times 1$  档，黑表笔接 S 极，红表笔接 D 极，阻值应为几欧至十几欧。由于测试条件不同，测出的  $R_{DS(on)}$  值比手册中给出的典型值要高一些。

### （4）检查跨导

将万用表置于  $R \times 1k$ （或  $R \times 100$ ）档，红表笔接 S 极，黑表笔接 D 极，手持螺丝刀去碰触栅极，指针应有明显偏转，偏转愈大，管子的跨导愈高。

### 【重要提醒】

VMOS 管分为 N 沟道管与 P 沟道管，但绝大多数产品属于 N 沟道管。对于 P 沟道管，测量时应交换表笔的位置。有少数 VMOS 管在 G-S 极间并有保护二极管，本检测方法中的 1、2 项不再适用。

## 5.2.3 场效应晶体管的应用

### 1. 场效应晶体管使用的注意事项

1) 为了安全使用场效应晶体管，在电路的设计中不能超过管的耗散功率，最大漏源电压、最大栅源电压和最大电流等参数的极限值。

2) 各类型场效应晶体管在使用时，要遵守场效应晶体管偏置极性的要求。如结型场效应晶体管栅源漏之间是 PN 结，N 沟道管栅极不能加正偏压，P 沟道管栅极不能加负偏压等。

3) 绝缘栅型场效应晶体管由于输入阻抗极高，所以在运输、贮藏中必须将引出脚短路，要用金属屏蔽包装，以防止外来感应电动势将栅极击穿。尤其要注意，不能将绝缘栅型场效应晶体管放入塑料盒子内，保存时最好放在金属盒内，同时也要注意管的防潮。

4) 为了防止场效应晶体管栅极感应击穿，要求一切测试仪器、工作台、电烙铁、电路本身都必须有良好的接地；引脚在焊接时，先焊源极；在连入电路之前，管的全部引线端保持互相短接状态，焊接完后才把短接材料去掉；从元器件架上取下管时，应以适当的方式确保人体接地（如采用接地环等）；当然，如果能采用先进的气热型电烙铁，焊接场效应晶体管是比较方便的，并且可以确保安全；在未关断电源时，绝对不可以把管插入电路或从电路中拔出。以上安全措施在使用场效应晶体管时必须注意。

5) 在安装场效应晶体管时，注意安装的位置要尽量避免靠近发热元件；为了防管件振动，有必要将管壳体紧固起来；引脚引线在弯曲时，应当在大于根部尺寸 5mm 处进行，以防止弯断引脚和引起漏气等。

6) 对于功率型场效应晶体管，要有良好的散热条件。因为功率型场效应晶体管在高负荷条件下运用，必须设计足够的散热器，确保壳体温度不超过额定值，使器件长期稳定可靠地工作。

## 2. 场效应晶体管的代换

场效应晶体管损坏后，最好是用同型号、同特性、同外形的场效应晶体管更换。如果没有同型号的场效应晶体管，可用其他型号的场效应晶体管代换。**要分清 N 沟道、P 沟道，功率大的可以代换功率小的。**

一般来说，小功率场效应晶体管代换时，要考虑输入阻抗、跨导、夹断电压或者开启电压、击穿电压等参数，要求这些参数与原来的管子参数基本一致；对于大功率场效应晶体管，代换时主要应考虑耗散功率要达到放大器输出功率的 0.5 ~ 1 倍，同时还有考虑击穿电压、漏极电流等参数。

# 第6章

## 集成电路

### 6.1 集成电路简介

#### 6.1.1 集成电路的用途及种类

##### 1. 集成电路的特点及用途

集成电路（IC）是 20 世纪 60 年代初期发展起来的一种新型半导体器件。它是经过先进的半导体制造工艺，把构成具有一定功能的电路所需的半导体、电阻器、电容器等元器件及它们之间的连接导线全部集成在一小块硅片上，然后焊接封装在一个管壳内的电子器件。

集成电路具有体积小、重量轻、引出线和焊接点少、寿命长、可靠性高、性能好等优点，同时成本低，便于大规模生产。它不仅在工用、民用电子设备中得到广泛的应用，同时在军事、通信、遥控等方面也得到广泛的应用。用集成电路来装配电子设备，其装配密度比晶体管可提高几十倍至几千倍，设备的稳定工作时间也可大大提高。

##### 2. 集成电路的种类

集成电路的应用非常广泛，通用的或者专用的集成电路的种类很多，见表 6-1。

表 6-1 集成电路的种类

| 分 类 方 法 | 种 类       | 说 明                                                                                                                        |
|---------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按功能结构分  | 模拟集成电路    | 用来产生、放大和处理各种模拟电信号。例如，传声器输出的音频信号就是模拟信号                                                                                      |
|         | 数字集成电路    | 用来产生、放大和处理各种数字电信号。例如，遥控器发出的信号就是数字信号                                                                                        |
|         | 数/模混合集成电路 | 用来产生、放大和处理各种模拟及数字电信号                                                                                                       |
| 按制作工艺分  | 半导体集成电路   | 采用半导体工艺技术，在硅基片上制作包括电阻器、电容器、晶体管、二极管等元器件，并具有某种电路功能的集成电路                                                                      |
|         | 膜集成电路     | 膜集成电路是在玻璃或陶瓷片上，以“膜”的形式制作电阻器、电容器等无源元器件。膜集成电路可分为厚膜集成电路（膜厚 1 ~ 10μm）和薄膜集成电路（膜厚 1μm 以下）两种                                      |
|         | 混合集成电路    | 在无源膜电路在基础上，外加半导体集成电路或者分立元件的二极管、晶体管等有源元器件，使其成为一个整体                                                                          |
| 按集成度分   | 小规模集成电路   | 晶体管数为 10 ~ 100 个                                                                                                           |
|         | 中规模集成电路   | 晶体管数为 100 ~ 1000 个                                                                                                         |
|         | 大规模集成电路   | 晶体管数为 1000 ~ 10000 个                                                                                                       |
|         | 超大规模集成电路  | 晶体管数为 100000 个以上                                                                                                           |
| 按用途分    | 电视机用集成电路  | 各种家用电器产品及其他电子产品的集成电路种类很多，型号也不统一。今后的发展方向是朝着超大规模集成电路发展                                                                       |
|         | 音响用集成电路   |                                                                                                                            |
|         | 影碟机用集成电路  |                                                                                                                            |
|         | 工业控制用集成电路 | 工业控制场合所采用的集成电路许多都属于专用产品                                                                                                    |
| 按导电类型分  | 双极型集成电路   | 制作工艺复杂，绝大多数模拟集成电路及数字集成电路中的 TTL、ECL、HTL、LST-TL、STTL 型都属于双极型集成电路                                                             |
|         | 单极型集成电路   | 制作工艺简单，易于大规模集成，主要产品有 MOS 型集成电路                                                                                             |
| 按应用领域分  | 标准通用集成电路  | 在大多数电子产品中均可使用的一些集成电路。在电子制作中，有许多通用的集成电路，如 NE555（时基电路）、LM324（四个集成的运算放大器）、TDA2822（双声道小功率放大器）、KD9300（单曲音乐集成电路）、LM317（三端可调稳压器）等 |
|         | 专用集成电路    | 专门为某一类功能电路设计的集成电路。例如，电视机、影碟机中的某些集成电路，都属于专用集成电路                                                                             |
| 按外形分    | 圆形        | 金属外壳晶体管封装型，一般适合用于大功率                                                                                                       |
|         | 扁平形       | 稳定性好，体积小                                                                                                                   |
|         | 双列直插式     | 绝大多数中小规模集成电路均采用这种封装形式                                                                                                      |

6.1.2 集成电路封装形式及引脚排序

1. 常见集成电路的封装形式

由于各类电子设备、仪器仪表的功能不同，其总体结构和组装要求也往往不尽相同。

因此，集成电路封装必须多种多样，才能满足各种整机的需要。目前，集成电路的封装形式有几十种，一般是采用绝缘的塑料或陶瓷材料进行封装。下面介绍几种常见的封装形式。

### (1) DIP 封装

DIP 封装就是**双列直插式封装**。引脚从封装两侧引出，封装材料有塑料和陶瓷两种。DIP 是最普及的插装式封装，绝大多数中小规模集成电路均采用这种封装形式，如图 6-1 所示。其引脚中心距 2.54mm，引脚数为 6~64。封装宽度通常为 15.2mm。

### (2) SIP 封装

SIP 封装为单列直插式封装，该类型的引脚在芯片**单侧排列**，引脚节距等特征与 DIP 封装基本相同，如图 6-2 所示。

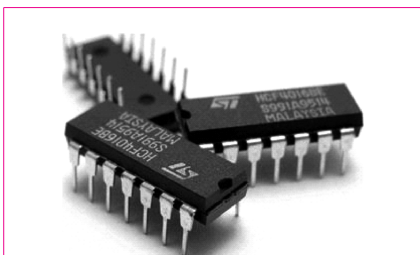


图 6-1 双列直插式封装的集成电路

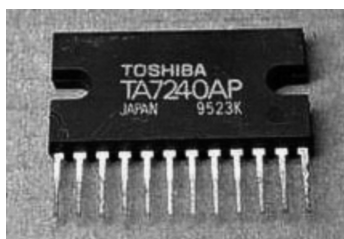
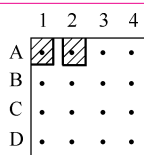


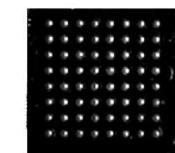
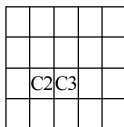
图 6-2 单列直插式封装的集成电路

### (3) BGA 封装

BGA 封装为球形触点阵列封装，**属于表面贴装式封装之一**。在印刷基板的背面按阵列方式制作出球形凸点用来代替引脚，在印刷基板的正面装配 LSI（大规模集成电路）芯片，然后用模压树脂或灌封方法进行密封，如图 6-3 所示。



a) BGA-IC 引脚排列



b) 球栅阵列的内引脚



c) BGA 封装芯片外形

图 6-3 BGA 封装的集成电路



#### (4) PLCC 封装

PLCC 封装为带引线的塑料芯片载体。引脚从封装的四个侧面引出，呈丁字形，是塑料制品。PLCC 封装适用于采用表面安装技术（SMT）在印制电路板（PCB）上安装布线，具有外形尺寸小、可靠性高的特点，如图 6-4 所示。



图 6-4 PLCC 封装的集成电路

#### (5) SOP 封装

SOP 封装为小外形封装，是普及最广的表面贴装封装，如图 6-5 所示。其引脚从封装两侧引出呈海鸥翼状（L 形）。封装材料有塑料和陶瓷两种。

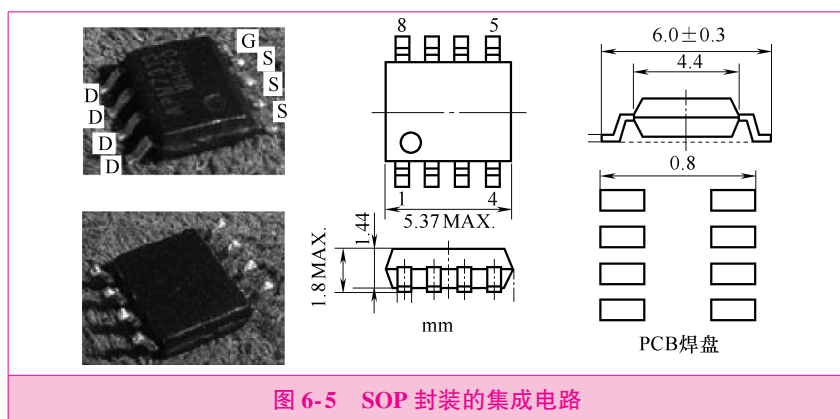


图 6-5 SOP 封装的集成电路

### 2. 集成电路引脚排序

集成电路通常有扁平、双列直插、单列直插等几种封装形式。不论是哪种集成电路的外壳上都有供识别引脚排序定位的标记（或称 1 脚）。常用集成电路引脚示意图如图 6-6 所示。

1) 圆形结构的集成电路和金属壳封装的晶体管差不多，只不过体积大、电极引脚多。这种集成电路引脚排列方式为从识别标记开始，沿顺时针方向依次为 1、2、3、…，如图 6-6a 所示。

2) 单列直插式集成电路的识别标记，有的用倒角，有的用凹坑。这类集成电路引脚的排列方式也是从标记开始，从左向右依次为 1、2、3、…，如图 6-6b、c 所示。

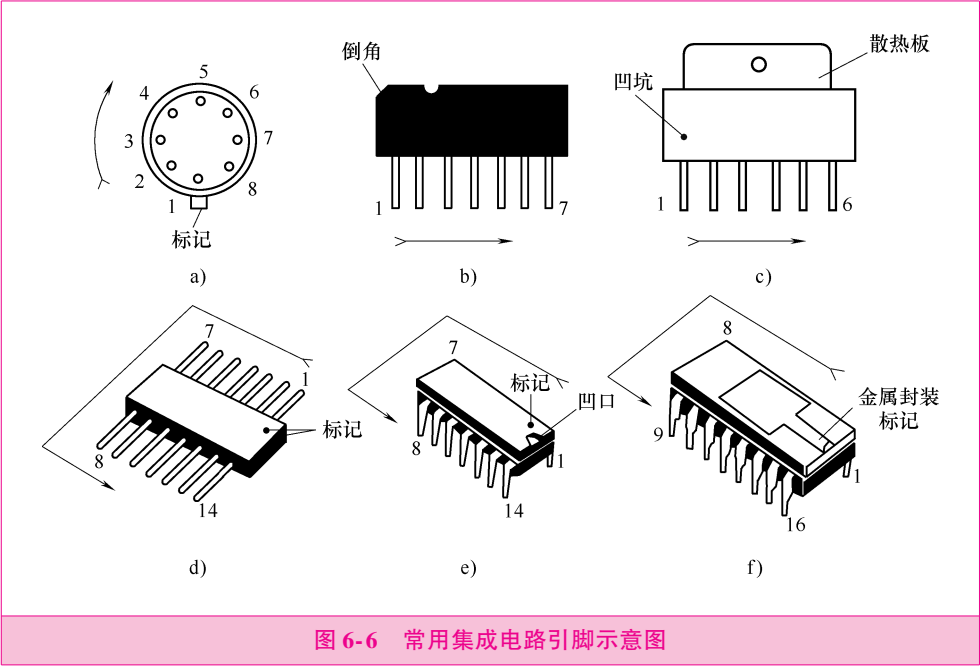


图 6-6 常用集成电路引脚示意图

3) 扁平形封装的集成电路多为双列式，这种集成电路为了识别引脚，一般在端面一侧有一个类似引脚的小金属片，或者在封装表面上有色标或凹口作为标记。其引脚排列方式是，**从标记开始，沿逆时针方向**依次为 1、2、3、…，如图 6-6d 所示。但应注意，有少量的扁平封装集成电路的引脚是顺时针排列的。

4) 双列直插式集成电路的识别标记多为半圆形凹口，有的用金属封装标记或凹坑标记。这类集成电路引脚排列方式也是**从标记开始，沿逆时针方向**依次为 1、2、3、…，如图 6-6e、f 所示。

【重要提醒】

1) 有的进口集成电路的引脚排列顺序是反向的，这类集成电路的型号后面带有后缀字母“R”。型号后面无“R”的是正向型引脚，有“R”的是反向型引脚，如图 6-7 所示。

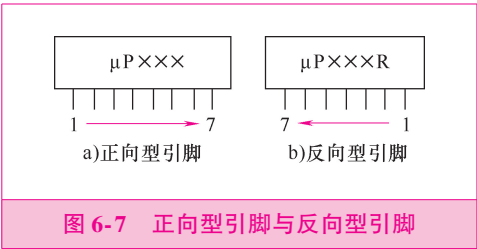
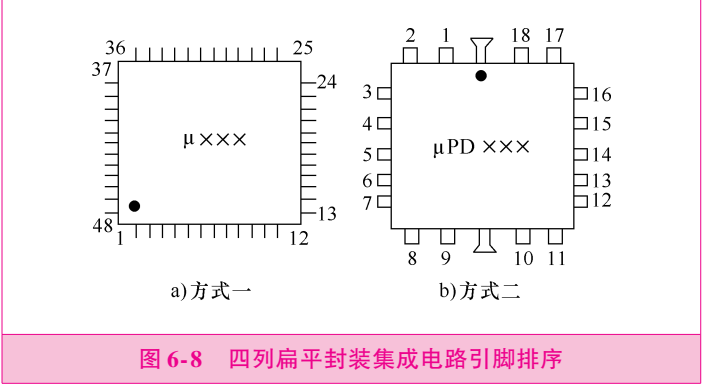


图 6-7 正向型引脚与反向型引脚

2) 四列扁平封装的集成电路引脚很多，常为大规模集成电路所采用，其引脚标记与排序如图 6-8 所示。



6.1.3 集成电路的命名及参数

目前，国际上还没有关于集成电路命名的统一标准，各制造公司都有自己的一套命名方法，给我们识别集成电路带来很大的困难，但各制造公司对集成电路的命名总还存在一些规律，一般都是字母 + 数字 + 字母。前面的字母是集成电路厂商或是某个芯片系列的缩写；后面的字母多是封装信息，要看厂商提供的资料才能知道具体字母代表什么封装。

1. 国产集成电路命名方法

我国生产的集成电路遵循原国标规定的命名方法，一般由五个部分组成，如图 6-9 所示，其符号及意义见表 6-2。

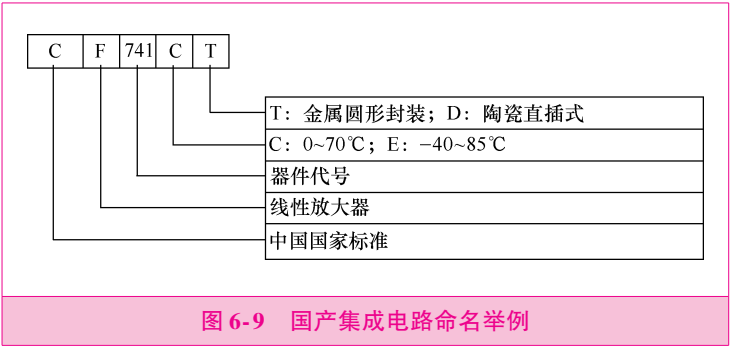


表 6-2 集成电路的命名

| 第一部分              |      | 第二部分      |      | 第三部分                      | 第四部分            |             | 第五部分           |        |
|-------------------|------|-----------|------|---------------------------|-----------------|-------------|----------------|--------|
| 用字母表示器件<br>符合国家标准 |      | 用字母表示器件类型 |      | 用阿拉伯数字<br>表示器件系列<br>和品种代号 | 用字母表示工作<br>温度范围 |             | 用字母表示<br>器件的封装 |        |
| 符号                | 意义   | 符号        | 意义   |                           | 符号              | 意义          | 符号             | 意义     |
| C                 | 中国制造 | T         | TTL  |                           | C               | 0 ~ 70℃     | W              | 陶瓷扁平   |
|                   |      | H         | HTL  |                           | E               | - 40 ~ 85℃  | B              | 塑料扁平   |
|                   |      | E         | ECL  |                           | R               | - 55 ~ 85℃  | F              | 全密封扁平  |
|                   |      | C         | CMOS |                           | M               | - 55 ~ 125℃ | D              | 陶瓷双列直插 |

(续)

| 第一部分              |      | 第二部分      |         | 第三部分                      | 第四部分            |    | 第五部分           |        |
|-------------------|------|-----------|---------|---------------------------|-----------------|----|----------------|--------|
| 用字母表示器件<br>符合国家标准 |      | 用字母表示器件类型 |         | 用阿拉伯数字<br>表示器件系列<br>和品种代号 | 用字母表示工作<br>温度范围 |    | 用字母表示<br>器件的封装 |        |
| 符号                | 意义   | 符号        | 意义      |                           | 符号              | 意义 | 符号             | 意义     |
| C                 | 中国制造 | F         | 线性放大器   |                           |                 |    | P              | 塑料双列直插 |
|                   |      | D         | 音响、电视电路 |                           |                 |    | J              | 黑陶瓷直插  |
|                   |      | W         | 稳压器     |                           |                 |    | K              | 金属菱形   |
|                   |      | J         | 接口电路    |                           |                 |    | T              | 金属圆壳   |
|                   |      | B         | 非线性电路   |                           |                 |    |                |        |
|                   |      | M         | 存储器     |                           |                 |    |                |        |
|                   |      | U         | 微机电路    |                           |                 |    |                |        |

其中，TTL 中标准系列为 CT1000 系列；H 系列为 CT2000 系列；S 系列为 CT3000 系列；LS 系列为 CT4000 系列。

2. 日本部分厂家集成电路命名方法

日本部分厂家集成电路命名方法见表 6-3，表中只写了集成电路的前缀。

表 6-3 日本部分厂家集成电路命名方法

| 厂 家      | 符 号 | 意 义     | 举 例                           |
|----------|-----|---------|-------------------------------|
| 日本电气电子公司 | μp  | 微型产品    | μpc1353C<br>μpa1576H          |
|          | a   | 组合元件    |                               |
|          | b   | 双极型数字电路 |                               |
|          | c   | 双极型模拟电路 |                               |
|          | d   | 单极型数字电路 |                               |
| 三洋电气公司   | LA  | 双极型线性电路 | LA76810A<br>LB1409<br>STK3048 |
|          | LB  | 双极型数字电路 |                               |
|          | LC  | CMOS 电路 |                               |
|          | STK | 厚膜电路    |                               |
| 东芝公司     | TA  | 双极型线性电路 | TA7232<br>TC4013BP<br>TD4919  |
|          | TC  | CMOS 电路 |                               |
|          | TD  | 双极型数字电路 |                               |
|          | TM  | MOS 电路  |                               |

3. 集成电路主要参数

集成电路的参数很多，最主要的参数见表 6-4。

表 6-4 集成电路的主要参数

| 主要参数 | 说 明                                                                                                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电源电压 | 指集成电路正常工作时所需的工作电压。通常，模拟集成电路的电源电压用“V <sub>cc</sub> ”表示，数字集成电路的正电源电压用“V <sub>DD</sub> ”表示，负电源电压用“V <sub>EE</sub> ”表示。数字集成电路多用 +5V 的工作电压，模拟集成电路工作电压各异 |

(续)

| 主要参数   | 说 明                                                                                                                                                         |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 静态工作电流 | 指集成电路信号输入引脚不加输入信号的情况下，电源引脚回路中的直流电流，该参数对确认集成电路故障具有重要意义。<br>通常，集成电路的静态工作电流均给出典型值、最小值、最大值。如果集成电路的直流工作电压正常，且集成电路的接地引脚也已可靠接地，当测得集成电路静态电流大于最大值或小于最小值时，则说明集成电路发生故障 |
| 耗散功率   | 指集成电路在标称的电源电压及允许的工作环境温度范围内正常工作时所输出的最大功率                                                                                                                     |
| 工作环境温度 | 指集成电路能够正常工作的环境温度极限值或者温度范围                                                                                                                                   |
| 增益     | 指集成电路内部放大器的放大能力，通常标出开环增益和闭环增益两项，也分别给出典型值、最小值、最大值三项指标。用常规检修手段（只有万用表一件检测仪表）无法测量集成电路的增益，只有使用专门仪器才能测量                                                           |
| 最大输出功率 | 指输出信号的失真度为额定值时（通常为 10%），功放集成电路输出引脚所输出的电信号功率                                                                                                                 |

【重要提醒】

集成电路的**极限参数**主要包括以下几项：

- 1) 最大电源电压。是指可以加在集成电路电源引脚与接地引脚之间直流工作电压的极限值，使用中不允许超过此值，否则将会永久性损坏集成电路。
- 2) 允许功耗。是指集成电路所能承受的最大耗散功率，主要用于各类大功率集成电路。
- 3) 工作环境温度。是指集成电路能维持正常工作的最低和最高环境温度。
- 4) 储存温度。是指集成电路在储存状态下的最低和最高温度。

6.2 集成稳压器

6.2.1 集成稳压器简介

1. 集成稳压器的功能

集成稳压器又叫集成稳压电路，是**将不稳定的直流电压转换成稳定的直流电压**的集成电路。

顾名思义，三端集成稳压器是指这种稳压用的集成电路**只有三个电极引脚**，其外形与普通晶体管一样，如图 6-10 所示。

集成稳压器是用分立元件组成的稳压器，能够消除高频噪声和自激振荡，具有固有输出功率大、稳压精度高、外围电路少、体积小、适应性较广等优点，近年来在电子产品中得到广泛应用。

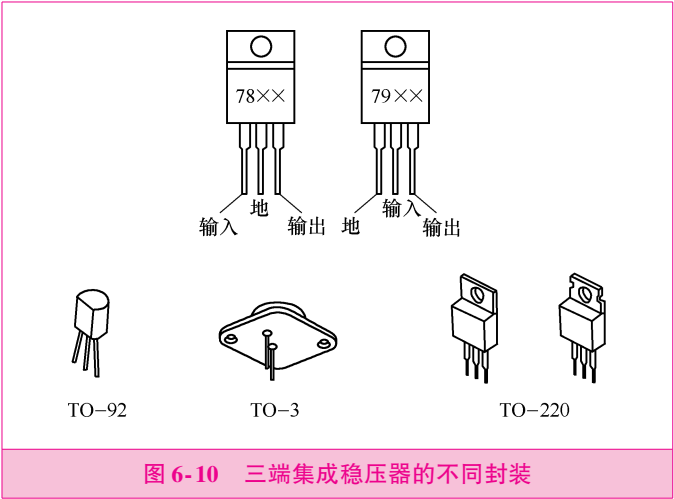


图 6-10 三端集成稳压器的不同封装

2. 集成稳压器的分类

集成稳压器一般分为线性集成稳压器和开关集成稳压器两类，见表 6-5。

表 6-5 集成稳压器的分类

| 集成稳压器   | 类 型            |
|---------|----------------|
| 线性集成稳压器 | 低压差集成稳压器       |
|         | 一般压差集成稳压器      |
| 开关集成稳压器 | 降压型集成稳压器       |
|         | 升压型集成稳压器       |
|         | 输入与输出极性相反集成稳压器 |

3. 集成稳压器的主要参数

集成稳压器的技术参数很多，最主要的几个技术参数见表 6-6。

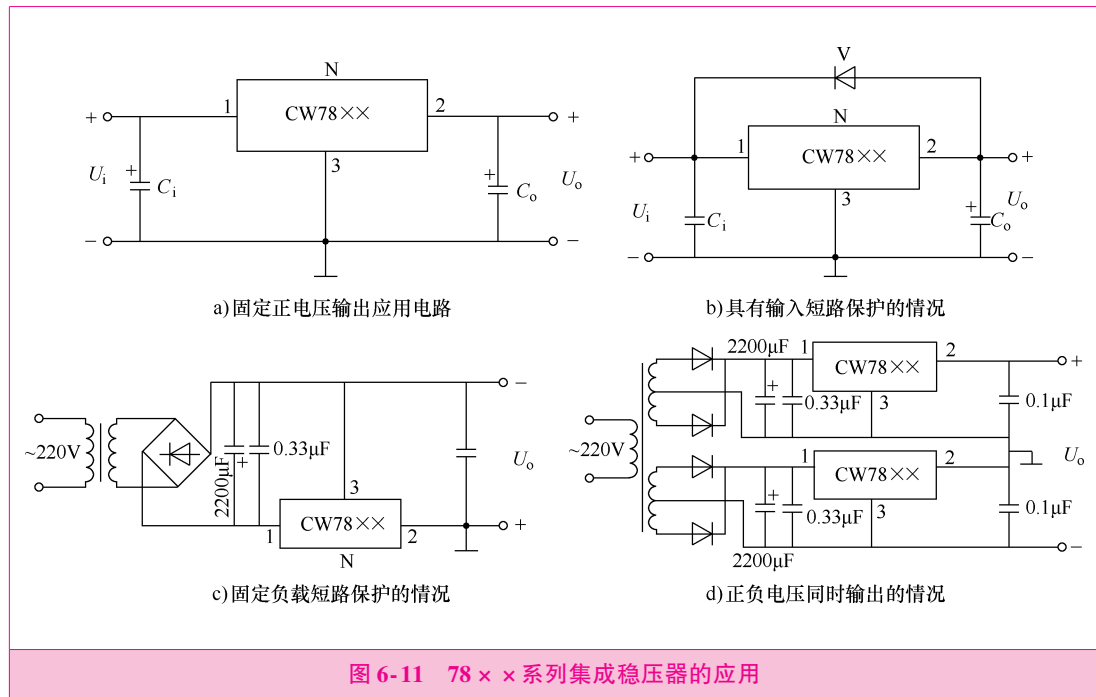
表 6-6 集成稳压器的主要技术参数

| 序号 | 技 术 参 数  | 说 明                                                               |
|----|----------|-------------------------------------------------------------------|
| 1  | 电压调整率    | 是表征集成稳压器稳压性能优劣的重要指标，又称为稳压系数或稳定度。表征当输入电压变化时集成稳压器输出电压稳定的程度          |
| 2  | 电流调整率    | 称为电流稳定系数，表征当输入电压不变时，集成稳压器对由于负载电流（输出电流）变化而引起的输出电压波动的抑制能力           |
| 3  | 纹波抑制比    | 反映集成稳压器对输入端引入的市电纹波电压抑制能力的指标                                       |
| 4  | 输出电压温度系数 | 又称输出电压温度变化率，是指当输入电压和输出电流（负载电流）保持不变时，集成稳压器输出电压随温度变化而变化的大小          |
| 5  | 输出电压稳定性  | 表征输出电压值随时间变化的大小（当输出电流、输入电压和环境温度保持不变时）。通常以在规定时间内集成稳压器输出电压的最大变化量来表示 |
| 6  | 温度稳定性    | 是指集成稳压器在规定的工作温度最大变化范围内输出电压的相对变化的百分比值                              |

### 6.2.2 三端固定集成稳压器

常用的三端固定集成稳压器，有正电压输出的  $78 \times \times$  系列和负电压输出的  $79 \times \times$  系列，它有输入、输出和公共端 3 个端子，输出电压固定不变（一般分为若干等级）。该系列集成稳压器型号中的 78 或 79 后面的数字代表该三端集成稳压器的输出电压，如 7806 表示输出电压为 +6V，7909 表示输出电压为 -9V。CW7800 系列的输出电压为 5V、6V、9V、12V、15V、18V、24V 共 7 个档次，这个系列产品的最大输出电流可达 1.5A。同类型的产品还有 CW78M00 系列，输出电流为 0.5A；CW78L00 系列，输出电流为 0.1A。

利用三端固定集成稳压器可以方便地构成固定输出的稳压电源，如图 6-11 所示。例如，要求 6V 输出电压，就可以选择 CW7806、CW78M06 或 CW78L06，其输出电压偏差在  $\pm 2\%$  以内。若输出电流在 1.5A 以内，选用 CW7800 系列；若输出电流在 0.5A 以内，选用 CW78M00 系列；若输出电流小于 100mA，选用 CW78L00 系列。



#### 【重要提醒】

三端集成稳压器的输入、输出和接地端绝不能接错，否则容易烧坏芯片。一般三端集成稳压器的最小输入、输出电压差约为 2V，否则不能输出稳定的电压。一般应使电压差保持在 4~5V。

在实际应用中，应在三端集成稳压器上安装足够大的散热器（当然小功率的条件下不用）。当稳压器温度过高时，稳压性能将变差，甚至损坏。

并联使用的三端集成稳压器应采用同一厂家、同一批号的产品，以保证参数的一致。



另外，在输出电流上留有一定的余量，以避免个别集成稳压器失效时导致其他电路的连锁烧毁。

6.2.3 三端可调集成稳压器

三端可调集成稳压器是指**输出电压可调的稳压器**，是在三端固定集成稳压器的基础上发展而成的，它只需少量的外围元器件就可以组成精密可调的稳压电路。

三端可调集成稳压器有 3 个接线端，即**输入端  $U_i$** 、**输出端  $U_o$** 和**电压调节端 ADJ**，**没有地端**。在调节端外接两个电阻器即可对输出电压作连续调节。三端可调集成稳压器可分为三端可调正电压集成稳压器和三端可调负电压集成稳压器，见表 6-7。

表 6-7 三端可调集成稳压器

| 类 型   | 产品系列或型号          | 最大输出电流 $I_{oM}/A$ | 输出电压 $U_o/V$ |
|-------|------------------|-------------------|--------------|
| 正电压输出 | LM117L/217L/317L | 0.1               | 1.2 ~ 37     |
|       | LM117M/217M/317M | 0.5               | 1.2 ~ 37     |
|       | LM117/217/317    | 1.5               | 1.2 ~ 37     |
|       | LM150/250/350    | 3                 | 1.2 ~ 33     |
|       | LM138/238/338    | 5                 | 1.2 ~ 32     |
|       | LM196/396        | 10                | 1.25 ~ 15    |
| 负电压输出 | LM137L/237L/337L | 0.1               | -1.2 ~ -37   |
|       | LM137M/237M/337M | 0.5               | -1.2 ~ -37   |
|       | LM137/237/337    | 1.5               | -1.2 ~ -37   |

三端可调集成稳压器引脚排列情况如图 6-12 所示。除输入、输出端外，另一端称为电压调整端。

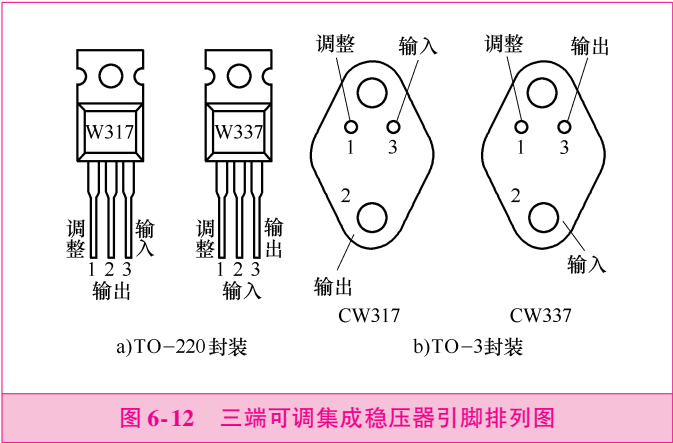


图 6-12 三端可调集成稳压器引脚排列图

三端可调集成稳压器的典型应用电路如图 6-13 所示。其中  $VD_1$  用于防止输入短路时，输出滤波电容器  $C_3$  上存储的电荷产生的放电电流损坏稳压器； $VD_2$  用于防止输出短路时， $C_2$  通过调整端放电而损坏稳压器。 $R_1$ 、 $R_2$  构成取样电路，调节  $R_2$  可以调节输出电压的大

小。在实际使用时,集成稳压器内部电路要求流过  $R_1$  的电流为  $5 \sim 10\text{mA}$ , 因此  $R_1$  一般取  $120 \sim 240\Omega$ 。

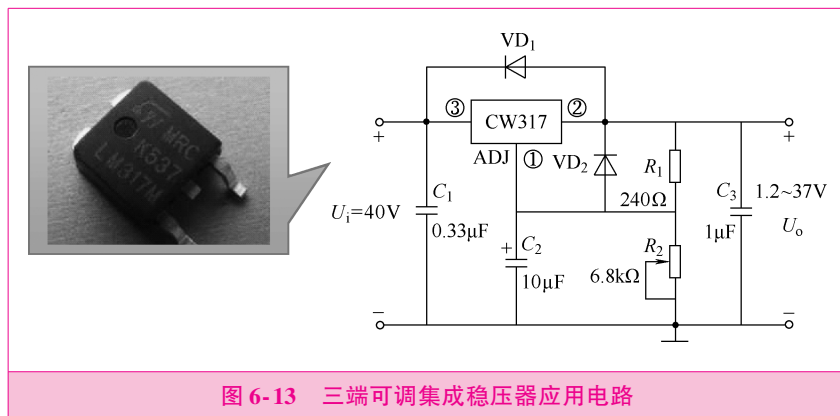


图 6-13 三端可调集成稳压器应用电路

### 【重要提醒】

在要求稳压精度较高,且输出电压需在一定范围内做任意调节的场合,可选用这种集成稳压器。它也有正、负输出电压以及输出电流大小之分,选用时应注意各系列集成稳压器的电参数特性。

## 6.2.4 精密电压基准集成稳压器

精密电压基准集成稳压器也称为可调式精密并联稳压器,电压调节器或三端取样集成电路。常用的精密电压基准集成稳压器主要有 TL431、WL431、KA431、 $\mu\text{A}431$ 、LM431 等。

TL431 是一个有良好的热稳定性能的三端可调分流基准源,输出电压为  $2.5 \sim 36\text{V}$ , 工作电流为  $1 \sim 100\text{mA}$ , 典型动态阻抗为  $0.2\Omega$ , 图 6-14 所示为 TL431 的图形符号及基本应用电路,输出电压由外部精密电阻器  $R_1$  和  $R_2$  来设定。在很多应用中可以用它代替齐纳二极管,例如数字电压表、运放电路、可调压电源、开关电源等。

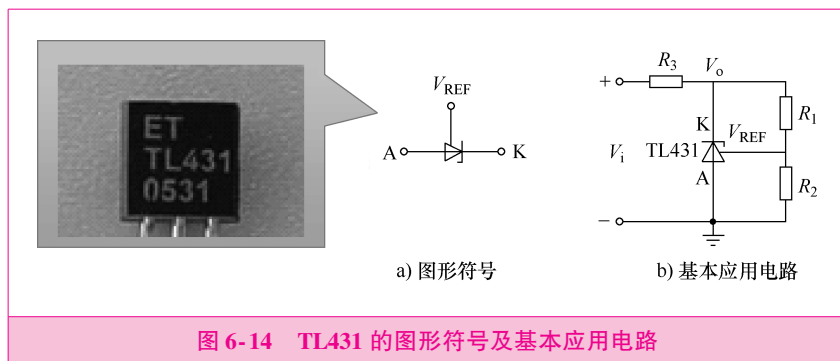


图 6-14 TL431 的图形符号及基本应用电路

## 6.3 语音集成电路和数字集成电路

### 6.3.1 语音集成电路

电子制作中经常用到音乐集成电路和语言集成电路，一般称为音乐片和语言片。它们一般都是软包封，即芯片直接用黑胶封装在一小块电路板上，如图 6-15 所示。语音集成电路一般还需要少量外围元器件才能工作，它们可直接焊到这块电路板上。

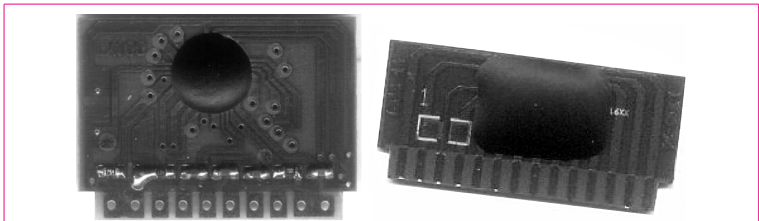


图 6-15 语音集成电路

语音集成电路的内部含有振荡器、节拍器、音色发生器、ROM、地址计算器和控制输出电路等。音乐片内可存储一首或多首世界名曲。

商品化的语音集成电路采用掩膜工艺，发声的简短语音是固定的，用户不能修改。OTP 语音集成电路解决了这一问题。OTP 即一次性可编程的意思，就是厂家生产出来的芯片，里面是空的，内容由用户写入（需开发设备），一旦固化好，再也不能擦除，信息也就不会丢失。它的出现为开发人员试制样机提供了方便，特别适合于小批量生产。

近年来，采用 EEPROM 的语音集成电路可随录随放，不怕掉电，使用方便，外围元器件少。这类语音录放集成电路首推（美国）ISD 公司的 ISD 系列，如图 6-16 所示，该系列语音录放组件可用于各种一段式语音留言装置、语音报警及语音提示装置中，能够在电源断开的情况下，长期保存信息，又可以随意更改录入的内容，整个组件体积小巧，厚度仅为 2mm，使用领域十分广泛，也极为方便。

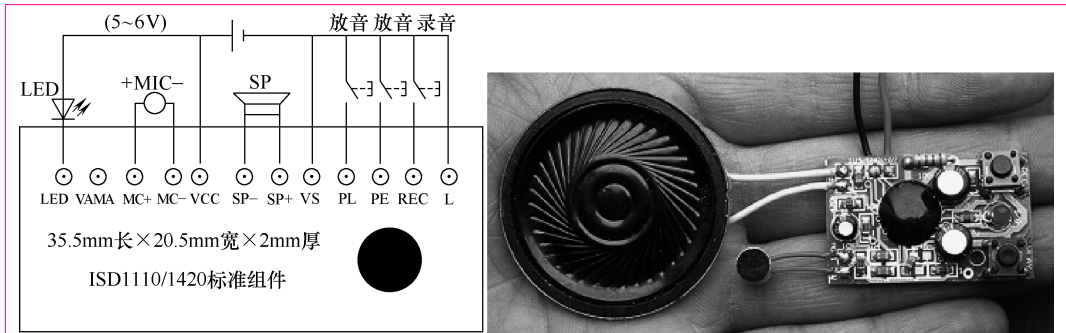


图 6-16 ISD 系列语音录放集成电路

### 6.3.2 数字集成电路

#### 1. 数字集成电路的种类

数字集成电路是将元器件和连线集成于同一半导体芯片上而制成的数字逻辑电路或系统。

1) **根据集成电路规模的大小**, 数字集成电路分为小规模集成 (SSI) 电路、中规模集成 (MSI) 电路、大规模集成 (LSI) 电路、超大规模集成 (VLSI) 电路和特大规模集成 (ULSI) 电路。

2) **按照结构工艺不同**, 数字集成电路可以分为厚膜集成电路、薄膜集成电路、混合集成电路、半导体集成电路四大类。

世界上生产最多、使用最多的是半导体集成电路。半导体数字集成电路 (以下简称数字集成电路) 主要分为 **TTL、CMOS、ECL** 三大类。

ECL、TTL 为双极型集成电路, 构成的基本器件为双极型半导体器件, 其主要特点是速度快、负载能力强, 但功耗较大、集成度较低。其中 TTL 电路的性能价格比最佳, 故应用最广泛。

MOS 数字集成电路是只用一种载流子导电的电路, 其中用电子导电的称为 NMOS 电路; 用空穴导电的称为 PMOS 电路; 如果是用 NMOS 及 PMOS 复合起来组成的电路, 则称为 CMOS 电路。MOS 电路中, 应用最广泛的为 CMOS 电路, CMOS 数字集成电路主要分为 4000 (4500 系列) 系列、54HC/74HC 系列、54HCT/74HCT 系列等, 实际上这三大系列之间的引脚功能、排列顺序是相同的, 只是某些参数不同而已。

CMOS 电路与 TTL 电路一起成为数字集成电路中两大主流产品。

3) **根据电路的功能分**, 数字集成电路可分为门电路、触发器、计数器、编译码器、存储器、CPU 等数百种器件。

#### 【重要提醒】

在信息技术中, 数字集成电路是主角, 其处理对象是以数字信号承载的信息。

#### 2. 数字集成电路的一般特性

74LS/HC 等系列是最常见的 TTL 电路, 它们使用 5V 电压, 逻辑“0”输出电压为小于等于 0.2V, 逻辑“1”输出电压约为 3V。

CMOS 数字集成电路的**工作电压范围宽, 静态功耗低, 抗干扰能力强**。CMOS 数字集成电路有个特点, 它们的供电引脚, 如 16 个引脚的集成电路, 其第 8 脚是电源负极, 第 16 脚是电源正极; 14 脚的集成电路, 它的第 7 脚是电源的正极。

通常 CMOS 集成电路工作电压范围为 3 ~ 18V, 所以不必像 TTL 集成电路那样, 要用标准的 5V 电压。CMOS 集成电路的输入阻抗很高, 这意味着驱动 CMOS 集成电路时, 所消耗的驱动功率几乎可以不计。

CMOS 集成电路非常的省电, 用 CMOS 集成电路制作的电子产品, 通常都可以用于电池供电。CMOS 集成电路的输出电流一般为 10mA 左右, 在一般的电子制作中, 驱动一个

LED 发光二极管是没有问题的。此外，CMOS 集成电路的抗干扰能力较强，且电源电压越高，抗干扰能力越强。

数字集成电路的产品型号的前缀为公司代号，如 MC、CD、 $\mu$ PD、HFE 分别代表摩托罗拉半导体（MOTA）、美国无线电（RCA）、日本电气（NEC）、飞利浦等公司。一般来说，各产品的中间数字相同的型号，均可互换使用。

### 【重要提醒】

**CMOS 集成电路容易被静电击穿，因此需要妥善保存。**一般要放在防静电原包装条中，或用锡箔纸包好。另外，焊接的时候，要用接地良好的电烙铁焊，或者索性拔掉电烙铁的电源插头，利用余热焊接。现在的 CMOS 集成电路因为改进了生产工艺，防静电能力有很大提高。

## 6.4 模拟集成电路

134

### 6.4.1 模拟集成电路简介

#### 1. 模拟集成电路的作用

模拟集成电路主要是指由晶体管、电容器、电阻器等组成的模拟电路集成在一起用来处理模拟信号或实现电源转换的集成电路。

模拟集成电路是用来产生、放大和处理各种模拟信号（指幅度随时间连续变化的信号）的电路，是微电子技术的核心技术之一，能对电压或电流等模拟量进行**采集、放大、比较、转换和调制**，广泛地应用在各种视听设备中，如电视机、音响设备等，即使冠上了“数码设备”的电子产品，也离不开模拟集成电路。

#### 2. 模拟集成电路的种类

模拟集成电路种类繁多，其性能要求也各不相同。模拟集成电路主要有以下三类：

- 1) **通用型电路**，如运算放大器、相乘器、锁相环电路、有源滤波器、A-D 与 D-A 转换器等。
- 2) **专用型电路**，如音响系统、电视接收机、录像机及通信系统等专用的集成电路系列。
- 3) **单片集成系统**，如单片发射机、单片接收机等。

### 【重要提醒】

根据输出与输入信号之间的响应关系，可以将模拟集成电路分为线性集成电路和非线性集成电路两大类。前者的输出与输入信号之间的响应通常呈线性关系，其输出信号的形状与输入信号是相似的，只是被放大了，并且按固定的系数进行放大的。而非线性集成电路的输出信号对输入信号的响应呈现非线性关系，比如二次方关系、对数关系等，故称为非线性电路。常见的非线性电路有振荡器、定时器、锁相环电路等。

### 6.4.2 模拟集成电路的典型应用

由于不同领域、不同种类电子系统的应用对模拟集成电路的速度、带宽、精度、噪声、失调、失真、温漂、动态范围、电源抑制比、功耗、工作温度范围、抗辐射能力等性能有着不同的技术要求，而且对其性能的提高永无止境，因此模拟集成电路种类繁多，产品千变万化。

模拟集成电路的基本应用电路包括**电流源、单级放大器、滤波器、反馈电路、电流镜电路**等，由它们组成的高一层的基本电路为**运算放大器、比较器**，更高一层的电路有**开关电容电路、锁相环、A-D 和 D-A 转换器**等。

### 6.4.3 集成运算放大器

#### 1. 集成运算放大器的作用

集成运算放大器简称集成运放，是由多级直接耦合的放大电路组成的高增益模拟集成电路，是具有很高放大倍数的电路单元。在实际电路中，通常结合反馈网络共同组成某种功能模块。由于早期应用于模拟计算机中，用以实现数学运算，故得名“运算放大器”，此名称一直延续至今。运算放大器是一个从功能的角度命名的电路单元，可以由分立器件实现，也可以在半导体芯片中实现。

集成运算放大器的种类非常多，可适用于不同的场合。在集成运算放大器的输入端与输出端接入不同的反馈网络，可实现不同用途的电路。例如，利用集成运算放大器可非常方便地完成**信号放大、信号运算**（加、减、乘、除、对数、反对数、二次方、开方等）、**信号的处理**（滤波、调制）以及**波形的产生和变换**。

集成运算放大器是用途广泛的器件，其应用已经延伸到汽车电子、通信、消费电子等各个领域。集成运算放大器接入适当的反馈网络，可用作精密的**交流和直流放大器、有源滤波器、振荡器及电压比较器**。

#### 2. 集成运算放大器的基本组成

集成运算放大器的内部电路比较复杂，但一般由四部分组成：**偏置电路、输入级电路、输出级电路和中间级电路**，如图 6-17 所示。集成运算放大器各组成部分及特点见表 6-8。

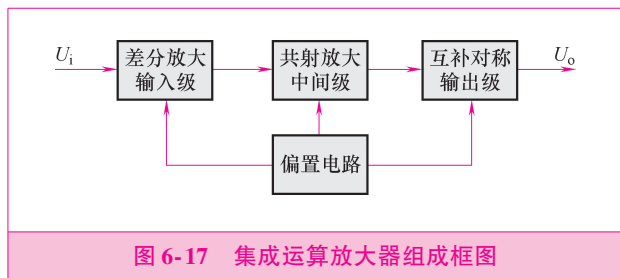


图 6-17 集成运算放大器组成框图



表 6-8 集成运算放大器各组成部分及特点

| 序 号 | 组 成 部 分 | 基 本 组 成     | 电 路 特 点                         |
|-----|---------|-------------|---------------------------------|
| 1   | 输入级     | 一般由差放电路组成   | 输入电阻高，放大共模信号，抑制差模信号             |
| 2   | 输出级     | 一般由互补对称电路组成 | 输出电阻小，输出功率大，带负载能力强              |
| 3   | 中间级     | 一般由共射放大电路组成 | 电压放大倍数高                         |
| 4   | 偏置电路    | 一般由恒流源电路组成  | 能提供稳定的静态电流，动态电阻很高，还可作为放大电路的有源负载 |

集成运算放大电路有两个输入端、一个输出端，电路符号如图 6-18 所示。

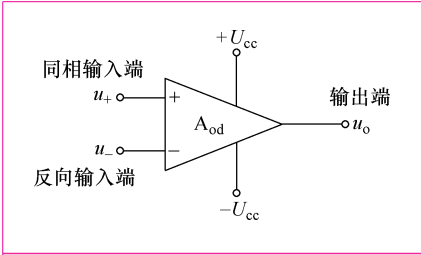


图 6-18 集成运算放大器的电路符号

3. 集成运算放大器的种类

按照集成运算放大器的参数来分，集成运算放大器可分为通用型集成运算放大器、高阻型集成运算放大器、低温漂型集成运算放大器、高速型集成运算放大器、低功耗型集成运算放大器 and 高压大功率型集成运算放大器等类型，见表 6-9。

表 6-9 集成运算放大器的种类

| 序号 | 种 类        | 说 明                                                                                                                                   | 产 品 举 例                                   |
|----|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1  | 通用型集成运算放大器 | 是指它的技术参数比较适中，可满足大多数情况下的使用要求。通用型集成运算放大器又分为Ⅰ型、Ⅱ型和Ⅲ型，其中Ⅰ型为低增益运算放大器，Ⅱ型为中增益运算放大器，Ⅲ型为高增益运算放大器。Ⅰ型和Ⅱ型基本上是早期的产品，其输入失调电压在 2mV 左右，开环增益一般大于 80dB。 | μA741（单运算放大器）、LM358（双运算放大器）、LM324（四运算放大器） |
| 2  | 高精度集成运算放大器 | 失调电压小，温度漂移非常小，以及增益、共模抑制比非常高。<br>这类运算放大器的噪声也比较小。其中单片高精度集成运算放大器的失调电压可小到几微伏，温度漂移小到每摄氏度几十微伏                                               | ICL7650、LFC2                              |
| 3  | 高速型集成运算放大器 | 其输出电压转换速率很大，有的可达 2 ~ 3kV/μs                                                                                                           | LM318、μA715                               |



(续)

| 序号 | 种 类          | 说 明                                                                                     | 产 品 举 例                   |
|----|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 4  | 高输入阻抗集成运算放大器 | 其输入阻抗十分大，输入电流非常小。这类运算放大器的输入级往往采用 MOS 管                                                  | CA3130、CA3140、LF356、TL082 |
| 5  | 低功耗集成运算放大器   | 其静态功耗一般比通用型低 1 ~ 2 个数量级 (不超过毫瓦级)，要求的电源电压很低，可用电池供电，整个运算放大器的功耗仅为几十微瓦。这类集成运算放大器多用于便携式电子产品中 | TL-022C、TL-060C           |
| 6  | 宽频带集成运算放大器   | 其工作频带很宽，单位增益带宽可达千兆赫以上，通常用于宽频带放大电路中                                                      | F1490、F1590、LM733、μpc4558 |
| 7  | 高压型集成运算放大器   | 一般集成运算放大器的供电电压在 15V 以下，而高压型集成运算放大器的供电电压可达数十伏                                            | D41、μA791                 |
| 8  | 功率型集成运算放大器   | 在提供较高的输出电压的同时，还能给出较大的输出电流，最后在负载上可以得到较大的输出功率。例如，有些单片音频放大器可以输出十几瓦的功率                      | PA44、F340、MC3401、LM3900   |

4. 正确选择集成运算放大器

集成运算放大器是模拟集成电路中应用最广泛的一种器件。在由运算放大器组成的各种系统中，由于应用要求不一样，对运算放大器的性能要求也不一样。

在没有特殊要求的场合，**尽量选用通用型集成运算放大器**，这样即可降低成本，又容易保证货源。当一个系统中使用多个运算放大器时，尽可能选用多运算放大器集成电路，例如 LM324、LF347 等都是将四个运算放大器封装在一起的集成电路。

实际选择集成运算放大器时，还应考虑其他因素，例如，信号源的性质，是电压源还是电流源；负载的性质，集成运算放大器的输出电压和电流是否满足要求；环境条件，集成运算放大器允许工作范围、工作电压范围、功耗与体积等因素是否满足要求。

5. 集成运算放大器的使用要点

(1) 集成运算放大器的电源供给方式

集成运算放大器有两个电源接线端  $+V_{CC}$  和  $-V_{EE}$ ，但有不同的电源供给方式。对于不同的电源供给方式，对输入信号的要求是不同的。

1) **对称双电源供电方式**，运算放大器多采用这种方式供电。相对于公共端（地）的正电源（ $+E$ ）与负电源（ $-E$ ）分别接于运算放大器的  $+V_{CC}$  和  $-V_{EE}$  引脚上。在这种方式下，可把信号源直接接到运算放大器的输入脚上，而输出电压的振幅可达正负对称电源电压。

2) **单电源供电方式**是将运算放大器的  $-V_{EE}$  引脚连接到地上。此时为了保证运算放大器内部单元电路具有合适的静态工作点，在运算放大器输入端一定要加入一直流电位。此

时运算放大器的输出是在某一直流电位基础上随输入信号变化。

(2) 集成运算放大器的调零问题

由于集成运算放大器的输入失调电压和输入失调电流的影响，当运算放大器组成的线性电路输入信号为零时，输出往往不等于零。为了提高电路的运算精度，要求对失调电压和失调电流造成的误差进行补偿，这就是运算放大器的调零。常用的调零方法有内部调零和外部调零，而对于没有内部调零端子的集成运算放大器，要采用外部调零方法。

(3) 集成运算放大器的自激振荡问题

集成运算放大器是一个高放大倍数的多级放大器，在接成深度负反馈条件下，很容易产生自激振荡。为使放大器能稳定的工作，就需要外加频率补偿网络，以消除自激振荡。另外，防止通过电源内阻造成低频振荡或高频振荡的措施是在集成运算放大器的正、负供电电源的输入端对地一定要分别加入一个电解电容器（10μF）和一个高频滤波电容器（0.01~0.1pF）。

(4) 集成运算放大器的保护问题

集成运算放大器的安全保护有三个方面：电源保护、输入保护和输出保护。

6.4.4 集成电路的检测与好坏判断

1. 集成电路的故障类型及分析

集成电路的故障类型及分析见表 6-10，其中集成电路烧坏、引脚折断和虚焊等故障，在检修中较常见。

表 6-10 集成电路的主要故障及分析

| 序 号 | 故 障 类 型 | 故障现象及分析                                                                                                                                                   |
|-----|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 集成电路烧坏  | 通常由过电压或过电流引起。集成电路烧坏后，从外表一般看不出明显的痕迹。严重时，集成电路可能会有烧出一个小洞或有一条裂纹之类的痕迹。<br>集成电路烧坏后，某些引脚的直流工作电压也会明显变化，用常规方法检查能发现故障部位。集成电路烧坏是一种硬性故障，对这种故障的检修很简单，只能更换              |
| 2   | 引脚折断和虚焊 | 集成电路的引脚折断故障并不常见，造成集成电路引脚折断的原因往往是插拔集成电路不当所致。如果集成电路的引脚过细，维修中很容易折断。另外，因摔落、进水或人为拉扯造成断脚、虚焊也是常见现象                                                               |
| 3   | 增益严重下降  | 当集成电路增益下降较严重时，集成电路即已基本丧失放大能力，需要更换。对于增益略有下降的集成电路，大多是集成电路的一种软故障，一般检测仪器很难发现，可用减小负反馈量的方法进行补救，不仅有效，且操作简单。<br>当集成电路出现增益严重不足故障时，某些引脚的直流电压也会出现显著变化，所以采用常规检查方法就能发现 |
| 4   | 噪声大     | 集成电路出现噪声大故障时，虽能放大信号，但噪声也很大，结果使信噪比下降，影响信号的正常放大和处理。若噪声不明显，大多是集成电路的软故障，使用常规仪器检查相当困难。由于集成电路出现噪声大故障时，某些引脚的直流电压也会变化，所以采用常规检查方法即可发现故障部位                          |

(续)

| 序 号 | 故 障 类 型  | 故障现象及分析                                                                                                                          |
|-----|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5   | 性能变劣     | 这是一种软故障，故障现象多种多样，且集成电路引脚直流电压的变化量一般很小，所以采用常规检查手段往往无法发现，只有采用替代检查法                                                                  |
| 6   | 内部局部电路损坏 | 当集成电路内部局部电路损坏时，相关引脚的直流电压会发生很大变化，检修中很容易发现故障部位。<br>对这种故障，通常应更换。但对某些具体情况而言，可以用分立元器件代替内部损坏的局部电路，但这样的操作往往相当复杂。操作者如果对电子基础知识掌握不深，就不可能完成 |

2. 集成电路的检测方法

要对集成电路是否有故障作出正确判断，首先要掌握该集成电路的用途、内部结构原理、主要电特性等，必要时还要分析内部电路原理图。一般对集成电路采用在路测量法进行检测，主要有**电压测量法**和**电阻测量法**。

(1) 电压测量法

电压测量法主要是**测出各引脚对地的直流工作电压值，然后与标称值相比较**，依此来判断集成电路的好坏。用电压测量法来判断集成电路的好坏是检修中最常采用的方法之一，但要注意区别非故障性的电压误差。测量集成电路各引脚的直流工作电压时，如遇到个别引脚的电压与原理图或维修技术资料中所标电压值不符，不要急于断定集成电路已损坏，应该根据表 6-11 所示的因素来分析判断。

表 6-11 电压测量法判断集成电路的好坏

| 序 号 | 判 定 标 准               | 说 明                                                                                                                                                |
|-----|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 所提供的标称电压是否可靠          | 多查资料，同时应该学会分析计算标称电压                                                                                                                                |
| 2   | 区别所提供的标称电压的性质         | 要能够区分电压是属哪种工作状态的电压                                                                                                                                 |
| 3   | 注意由于外围电路可变元件引起的引脚电压变化 | 当测量出的电压与标称电压不符时，可能因为个别引脚或与该引脚相关的外围电路，连接的是一个阻值可变的电位器或者是开关，这些电位器和开关所处的位置不同，引脚电压会有明显不同，所以当出现某一引脚电压不符时，要考虑引脚或与该引脚相关联的电位器和开关的位置变化，可旋动或拨动开关看引脚电压能否在标称值附近 |
| 4   | 防止由于测量造成的误差           | 集成电路的个别引脚有时会随着注入信号的不同而明显变化，要注意由于万用表表头内阻不同或直流电压档不同造成的误差                                                                                             |
| 5   | 如果某一引脚电压不相符           | 应根据该引脚电压对集成电路正常工作有无重要影响以及其他引脚电压的相应变化进行分析，才能判断集成电路的好坏                                                                                               |
| 6   | 若集成电路各引脚电压正常或部分不正常    | 应学会判断好坏，电压完全正常则集成电路正常，如果电压部分不正常，应从偏离正常值最大的引脚入手，检查其外围元器件有无故障，若无故障，则集成电路很可能损坏                                                                        |
| 7   | 对于动态接收装置              | 要注意设备在不同工作方式下，集成电路各引脚电压也是不同的                                                                                                                       |
| 8   | 对于多种工作方式的装置           | 要注意某些设备在不同工作方式会有不同的电压                                                                                                                              |

如果排除以上几个因素后，所测的个别引脚电压还是与标称值不符时，需进一步分析原因，但不外乎两种可能：一是集成电路本身故障引起；二是集成电路外围电路造成。分辨出这两种故障源，也是修理集成电路电子产品设备的关键。

【重要提醒】

测量集成电路的电压时，一般测量集成电路的电源引脚、信号输入引脚、信号输出引脚和一些重要的控制引脚等这些关键测试点。集成电路的电源引脚电压异常时，如果其他各引脚电压也不正常，应先重点检查电源引脚的外围电路。

(2) 电阻测量法

怀疑集成电路有故障，我们可在路测量集成电路的电阻，也可在集成电路未焊入电路时进行测量。通过**测量其各引脚之间的直流电阻值与已知正常同型号集成电路各引脚之间的直流电阻值进行对比**，可确定其是否正常。电阻测量法判断集成电路好坏的方法见表 6-12。

表 6-12 电阻测量法判断集成电路的好坏

| 序 号 | 方 法         | 操 作 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 在线直流电阻普测法   | <p>此方法是在发现引脚电压异常后，通过测试集成电路的外围元器件好坏来判定集成电路是否损坏，由于是断电情况下测定电阻值，因此比较安全，并可以在没有资料和数据且不必要了解其工作原理的情况下，对集成电路的外围电路进行在线检查，在相关的外围电路中，以快速的方法对外围元器件进行一次测量，以确定是否存在较明显的故障。</p> <p>具体操作方法：</p> <p>1) 用万用表 <math>R \times 10</math> 档分别测量二极管和晶体管的正、反向电阻值。此时由于欧姆档选择得很低，外电路对测量数据的影响较小，可很明显地看出二极管、晶体管的正、反向电阻，尤其是 PN 结的正向电阻增大或短路更容易发现。</p> <p>2) 可对电感器是否开路进行检测，正常时电感器两端阻值较大，那么即可断定电感器开路。</p> <p>3) 根据外围电路元器件参数的不同，采用不同的欧姆档测量电容器和电阻器，检查是否有较为明显的短路和开路性故障，从而排除由于外围电路引起个别引脚的电压变化</p> |
| 2   | 在线直流电阻测量对比法 | <p>此方法是利用万用表测量待查集成电路各引脚对地正、反向直流电阻值与正常数据进行对照来判断好坏。需要注意的是，要交换表笔测试两次，即红表笔接地，黑表笔测试；黑表笔接地，红表笔测试。这一方法需要积累同一机型同型号集成电路的正常可靠数据，以便与待查数据对比。测量时要注意以下三点：</p> <p>1) 测量前先断开电源，以免测试时损坏电表和元器件。</p> <p>2) 万用表欧姆档的内部电压不得大于 6V，量程最好用 <math>R \times 100</math> 或 <math>R \times 1k</math> 档。</p> <p>3) 测量集成电路引脚参数时，要注意测量条件，如被测机型与集成电路相关电位器的滑动臂位置等，还要考虑外围电路元器件的好坏</p>                                                                                                           |

(续)

| 序 号 | 方 法           | 操 作 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3   | 非在线数据与在线数据对比法 | <p>在集成电路未与外围电路连接时，通过测量集成电路各引脚之间的直流电阻值与已知正常同型号集成电路各引脚之间的直流电阻值进行对比，可确定其是否正常。</p> <p>非在线数据通用性强，可以对不同机型、不同电路、相同集成电路型号的电路作对比。</p> <p>操作方法：先用吸锡枪把被查集成电路的接地脚的锡焊吸干净，使之与印制电路板脱离，再对应于某一怀疑引脚进行测量对比。如果被怀疑引脚有较小阻值的电阻连接在地或电源之间，为了不影响被测数据，该引脚也应与印制电路板开路，直至外电路的阻值不影响被测集成电路的电阻值为止。</p> <p>注意，直流电阻测量对比法对于不同批次同一型号的集成电路，有一定的误差和差异。对这种情况，要在了解内部结构的基础上，进行分析、判断</p> |

【重要提醒】

如果集成电路的某一只引脚与其接地引脚之间的阻值为 0 或无穷大（空脚除外），则集成电路损坏（内部短路、开路或被击穿）；如果集成电路任一只引脚与接地引脚之间均具有一定大小的电阻值，则集成电路基本正常。

3. 集成电路检测的注意事项

- 1) 检测前要了解集成电路及其相关电路的工作原理，熟悉该集成电路的功能、内部电路、主要电气参数、各引脚的作用、引脚的正常电压和波形，以及外围元器件组成情况。如果具备以上条件，那么分析和检查会容易许多。
- 2) 测试操作不要造成引脚间短路。电压测量或用示波器探头测试波形时，表笔或探头滑动会造成集成电路引脚间短路，最好在与引脚直接连通的外围印制电路板上进行测量，如图 6-19 所示。任何瞬间的短路都容易损坏集成电路，在测试扁平形封装的 CMOS 集成电路时更要加倍小心。

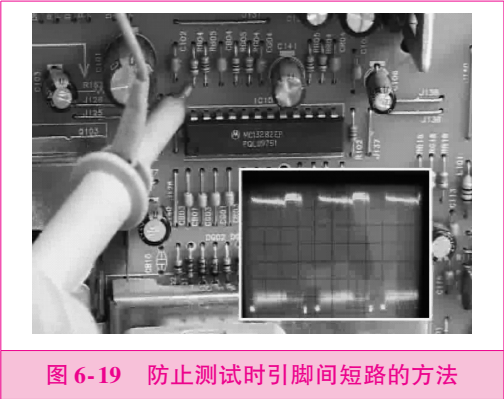


图 6-19 防止测试时引脚间短路的方法

- 3) 在无隔离变压器的情况下，严禁用已接地的测试设备去接触底板带电的设备，否



则极易与底板带电的设备造成电源短路，危及集成电路，造成故障进一步扩大。

4) 不要轻易判断集成电路已经损坏。因为集成电路绝大多数为直接耦合，一旦某一电路不正常，可能会导致多处电压变化，而这些变化不一定是集成电路损坏引起的。另外，在有些情况下测得各引脚电压与正常值相符或接近时，也不一定能说明集成电路就是好的。因为有些软故障不会引起直流电压的变化。

5) 测试仪表内阻要大。测量集成电路引脚直流电压时，应选用表头内阻大于  $20\text{k}\Omega/\text{V}$  的万用表，否则对某些引脚电压会有较大的测量误差。

#### 4. 常用集成电路的检测

##### (1) 微处理器集成电路的检测

微处理器集成电路的关键测试引脚是  $V_{\text{DD}}$  电源端、RESET 复位端、XIN 晶振信号输入端、XOUT 晶振信号输出端及其他各线输入、输出端。在路测量这些关键引脚对地的电阻值和电压值，看是否与正常值（可从产品电路图或有关维修资料中查出）相同。

##### 【重要提醒】

不同型号微处理器的 RESET 复位电压也不相同，有的是低电平复位，即在开机瞬间为低电平，复位后维持高电平；有的是高电平复位，即在开关瞬间为高电平，复位后维持低电平。

##### (2) 开关电源集成电路的检测

开关电源集成电路的关键引脚有电源端 ( $V_{\text{CC}}$ )、激励脉冲输出端、电压检测输入端、电流检测输入端。测量各引脚对地的电压值和电阻值，若与正常值相差较大，在其外围元器件正常的情况下，可以确定是该集成电路已损坏。

内置大功率开关管的厚膜集成电路，还可通过测量开关管 C、B、E 极之间的正、反向电阻值，来判断开关管是否正常。

##### (3) 音频功放集成电路的检测

检查音频功放集成电路时，应先检测其电源端（正电源端和负电源端）、音频输入端、音频输出端及反馈端对地的电压值和电阻值。若测得各引脚的数据值与正常值相差较大，其外围元器件正常，则是该集成电路内部损坏。

对引起无声故障的音频功放集成电路，测量其电源电压正常时，可用信号干扰法来检查。测量时，万用表应置于“ $R \times 1$ ”档，将红表笔接地，用黑表笔点触音频输入端，正常时扬声器中应有较强的“喀喀”声。

##### (4) 运算放大器集成电路的检测

用万用表直流电压档，测量运算放大器输出端与负电源端之间的电压值（在静态时电压值较高）。用手持金属镊子依次点触运算放大器的两个输入端（加入干扰信号），若万用表指针有较大幅度的摆动，则说明该运算放大器完好；若万用表指针不动，则说明运算放大器已损坏。

##### (5) 三端集成稳压器的检测

电路中的三端集成稳压器可以通过测量引脚间的电阻值和测量稳压值来判断其好坏。

## 1) 电阻值检测。

用万用表  $R \times 1k$  档测量三端集成稳压器各引脚之间的电阻值（正测、负测各一次），可以根据测量的结果粗略判断出被测三端集成稳压器的好坏，如图 6-20 所示。

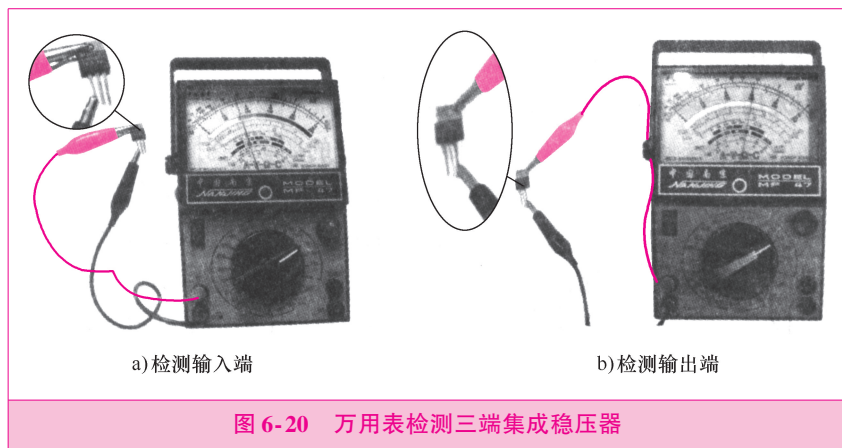


图 6-20 万用表检测三端集成稳压器

如果测量的引脚间的正向电阻值为一固定值，而反向电阻值为无穷大，则三端集成稳压器正常；如果测得某两引脚之间的正、反向电阻值均很小或接近  $0\Omega$ ，则可判断该三端集成稳压器内部已击穿损坏；如果测得两引脚之间的正、反向电阻值均为无穷大，则说明该三端集成稳压器已开路损坏；如果测得三端集成稳压器的阻值不稳定，随温度的变化而改变，则说明该三端集成稳压器的热稳定性能不良。

所谓正测是指黑表笔接三端集成稳压器的接地端，红表笔依次接触另外两个引脚；负测指红表笔接接地端，黑表笔依次接触另外两个引脚。

## 2) 测量稳压值。

将指针式万用表调到直流电压档的“10V”或“50V”档（根据三端集成稳压器的输出电压大小）。将被测三端集成稳压器的电压输入端与接地端之间加上一个直流电压。将万用表的红表笔接输出端，黑表笔接接地端，测量输出的稳压值。

如果输出的稳压值正常，则三端集成稳压器正常；如果输出的稳压值不正常，则三端集成稳压器损坏。

## 三端集成稳压器检测口诀

检测三端稳压器，万用表置电压档，  
输入加上直流压，输出与标一个样。  
判别输入输出极，用表拨在欧姆档，  
红笔接地黑笔测，入端值大出端降。



# 第 7 章

## 其他常用元器件

### 7.1 继电器

#### 7.1.1 继电器简介

##### 1. 继电器的作用

继电器是一种**具有隔离功能**的自动开关元件，通常应用于自动控制电路中，它实际上是用较小的电流去控制较大电流的一种“自动开关”，故在电路中起着**自动调节、安全保护、转换电路**等作用。

在电路中，可以按触点组的不同形式，根据控制信号的要求**同时换接、开断、接通多路电路**，达到自动控制的目的。

##### 2. 继电器的结构及原理

继电器一般由**铁心、线圈、衔铁、触点、弹簧、支架、外壳**等组成，如图 7-1 所示。

只要在线圈两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，衔铁就会在电磁力吸引的作用下克服返回弹簧的拉力吸向铁心，从而带动衔铁的动触点与静触点（动合触点）吸合。当线圈断电后，电磁的吸力也随之消失，衔铁就会在弹簧的反作用力下返回原来的位置，使动触点与原来的静触点（动断触点）释放。这样吸合、释放，从而达到了在电路中的导通、切断的目的。

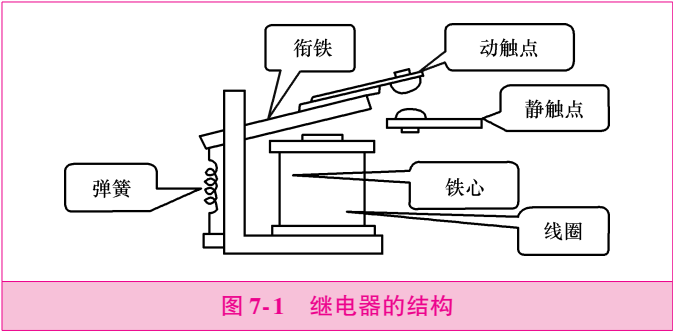


图 7-1 继电器的结构

【知识窗】

继电器的触点类型

继电器的动合、动断触点，可以这样来区分：继电器线圈未通电时处于断开状态的静触点，称为动合触点；处于接通状态的静触点称为动断触点。

继电器的触点有以下三种基本形式：

- 1) **动合型**（也称为常开型）。线圈不通电时两触点是断开的，通电后两个触点就闭合。以“合”字的拼音首字母“H”表示。
- 2) **动断型**（也称为常闭型）。线圈不通电时两触点是闭合的，通电后两个触点就断开。用“断”字的拼音首字母“D”表示。
- 3) **转换型**。属于触点组型，这种触点组共有三个触点，即中间是动触点，上下各一个静触点。线圈不通电时，动触点与其中一个静触点断开并与另一个静触点闭合，线圈通电后，动触点就移动，使原来断开的触点成为闭合状态，原来闭合的触点成为断开状态，达到转换的目的。这样的触点组称为转换触点，用“转”字的拼音首字母“Z”表示。

继电器触点的图形符号见表 7-1。

表 7-1 继电器触点的图形符号

|  |                     |  |           |
|--|---------------------|--|-----------|
|  | 动断（常闭）触点            |  | 先断后合的转换触点 |
|  | 中间断开的双向触点           |  | 先合后断的转换触点 |
|  | 双动合触点               |  | 双动断触点     |
|  | 动合（常开）触点，此符号也可作开关符号 |  | 延时闭合的动合触点 |

(续)

|                                                                                   |           |                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|  | 延时断开的动合触点 |  | 延时闭合的动断触点 |
|  | 延时断开的动断触点 |                                                                                   |           |

3. 继电器的种类

按照不同的分类方法，继电器可分为多种类型，见表 7-2。

表 7-2 继电器的分类

| 序号 | 分 类 方 法        | 种 类                                                     |
|----|----------------|---------------------------------------------------------|
| 1  | 按工作原理和结构不同     | 电磁继电器、时间继电器、固态继电器、极化继电器、磁保持继电器、温度继电器、平衡力继电器、高频继电器和其他继电器 |
| 2  | 按触点的负载大小不同     | 微功率继电器、弱功率继电器、中功率继电器、强功率继电器                             |
| 3  | 按防护特征不同        | 密封式继电器、封闭式继电器和敞开式继电器                                    |
| 4  | 按外形尺寸不同        | 微型继电器、超小型微型继电器和小型微型继电器                                  |
| 5  | 按在保护回路中所起的作用不同 | 起动继电器、量度继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器和出口继电器                     |
| 6  | 按反映的物理量不同      | 电流继电器、电压继电器、功率方向继电器、阻抗继电器、频率继电器和气体（瓦斯）继电器               |

4. 继电器的主要参数

继电器的主要参数包括**额定工作电压**、**直流电阻**、**吸合电流**、**释放电流**及**触点切换电压和电流**，具体含义见表 7-3。

表 7-3 继电器主要参数的含义

| 序号 | 技 术 参 数   | 含 义                                                                                                     |
|----|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 额定工作电压    | 是指继电器正常工作时线圈所需要的电压，也就是控制电路的控制电压。根据继电器的型号不同，可以是交流电压，也可以是直流电压                                             |
| 2  | 直流电阻      | 是指继电器中线圈的直流电阻，其电阻值大小可用万用表测量                                                                             |
| 3  | 吸合电流      | 是指继电器能够产生吸合动作的最小电流。在正常使用时，给定的电流必须略大于吸合电流，这样继电器才能稳定地工作。而对于线圈所加的工作电压，一般不要超过额定工作电压的 1.5 倍，否则会产生较大的电流而把线圈烧毁 |
| 4  | 释放电流      | 是指继电器产生释放动作的最大电流。当继电器吸合状态的电流减小到一定程度时，继电器就会恢复到未通电的释放状态。此时的电流远远小于吸合电流                                     |
| 5  | 触点切换电压和电流 | 是指继电器允许加载的电压和电流。它决定了继电器能控制电压和电流的大小，使用时不能超过此值，否则很容易损坏继电器的触点                                              |

7.1.2 常用继电器

1. 电磁继电器

电磁继电器是由控制电流通过线圈所产生的电磁力驱动磁路中的可动部分而实现触点断开、闭合或转换功能的继电器。电磁继电器主要包括交流电磁继电器、直流电磁继电器和磁保持继电器三种，如图 7-2 所示。



电磁继电器可以用低电压、小电流控制高电压、大电流电路，还可实现远距离操作和生产自动化，在现代生活中起着越来越重要的作用。

2. 固态继电器

固态继电器（SSR）是用半导体器件代替传统电接点作为切换装置的具有继电器特性的无触点开关器件。如图 7-3 所示，单相固态继电器是一种四端有源器件（两个接线端为输入端，另两个接线端为输出端），输入输出间为光隔离，输入端加上直流或脉冲信号到一定电流值后，输出端就能从断态转变成通态。



固态继电器具有短路保护、过载保护和过热保护功能。

3. 干簧继电器

干簧继电器主要由干式舌簧片与励磁线圈组成，其结构如图 7-4 所示。干簧继电器是一种利用热敏磁性材料检测和控制温度的新型热敏开关装置。

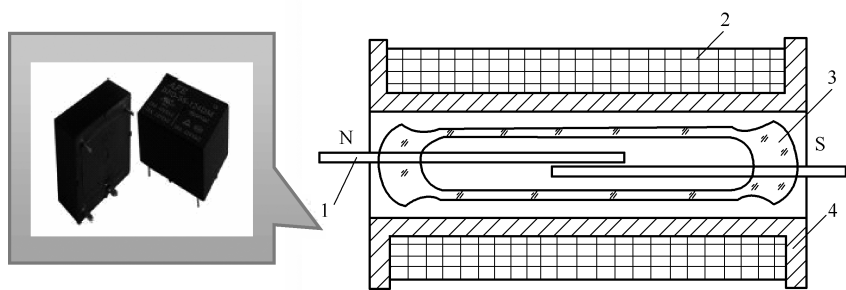


图 7-4 干簧继电器的结构

1—舌簧片 2—线圈 3—玻璃管 4—骨架

干簧继电器还可以用永磁体来驱动，反映非电信号，用作限位及行程控制以及非电量检测等。主要部件为干簧继电器的干簧水位信号器，适用于工业与民用建筑中的水箱、水塔及水池等开口容器的水位控制和水位报警。

#### 4. 热继电器

热继电器是由流入热元件的电流产生热量，使有不同膨胀系数的双金属片发生形变，当形变达到一定距离时，就推动连杆动作，使控制电路断开，从而使接触器失电，主电路断开。热继电器是用于电动机或其他电气设备、电气线路的**过载保护的**保护电器，如图 7-5 所示。

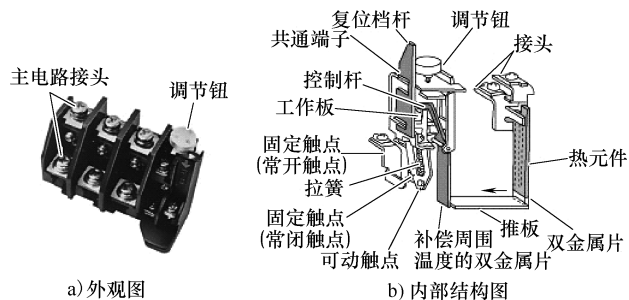


图 7-5 热继电器

#### 5. 时间继电器

时间继电器是一种利用电磁原理或机械原理实现**延时控制的**自动开关装置，是一种使用在较低电压或较小电流的电路上，用来接通或切断较高电压、较大电流的电路的电气元件，如图 7-6 所示。

时间继电器广泛应用于遥控、通信、自动控制等电子设备中，是最主要的控制元件之一。时间继电器主要有空气阻尼型、电动型和电子型等种类。

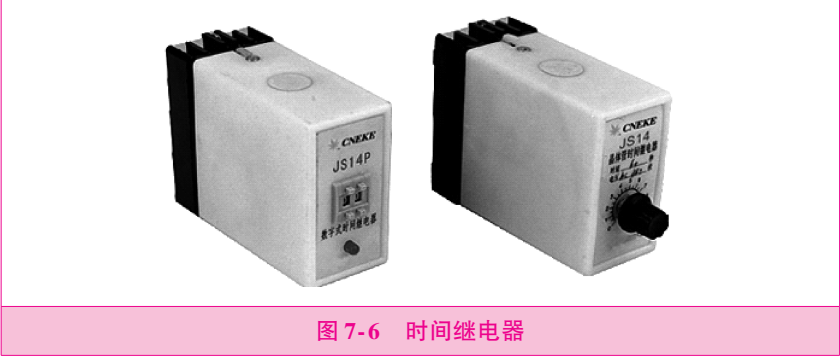


图 7-6 时间继电器

6. 光继电器

光继电器为交直流并用的半导体继电器，是一种发光器件和受光器件一体化的器件。输入侧和输出侧电气性绝缘，但信号可以通过光信号传输，如图 7-7 所示。



图 7-7 光继电器

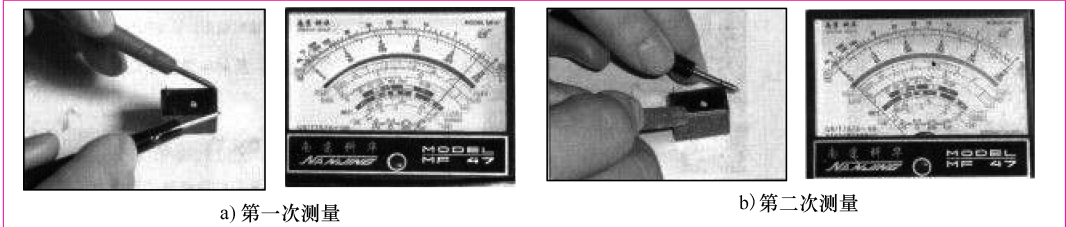
光继电器具有无机械触点、长寿命、低动作电流、高隔离电压、高速切换、低泄漏电流的优点，主要应用于量测设备、通信设备、保全设备、医疗设备等。

7.1.3 继电器的检测及好坏判断

1. 检测触点电阻

用万用表的欧姆档，测量动断触点的电阻，其阻值应为 0；而动合触点的阻值为无穷大。由此可以区别出哪个是动断触点，哪个是动合触点。

用万用表的  $R \times 1$  档测量动断触点的电阻值，正常为 0；将衔铁按下，此时动断触点的阻值应为无穷大，如图 7-8 所示。



a) 第一次测量

b) 第二次测量

图 7-8 检测继电器的触点电阻

若在没有按下衔铁时，测出某一组动断触点有一定的阻值或无穷大，则说明该组触点已烧坏或氧化。

## 2. 检测线圈电阻

电磁继电器线圈的阻值一般为  $25\Omega \sim 2k\Omega$ （型号不同，线圈的电阻值差异很大）。额定电压低的电磁继电器线圈的阻值较低，额定电压高的电磁继电器线圈的阻值较高。

可用指针式万用表  $R \times 100$  档测量继电器线圈的阻值，从而判断该线圈是否存在开路现象。若测得其阻值为无穷大，则线圈已断路损坏；若测得其阻值低于正常值很多，则线圈内部有短路故障。如果线圈有局部短路，则用此方法不易发现。

也可以将数字万用表置于  $2k\Omega$  档，测量线圈的电阻值，如图 7-9 所示。若阻值与标称值相同，则说明线圈良好；若阻值为无穷大，说明线圈开路；若阻值比标称值小，则说明线圈短路。

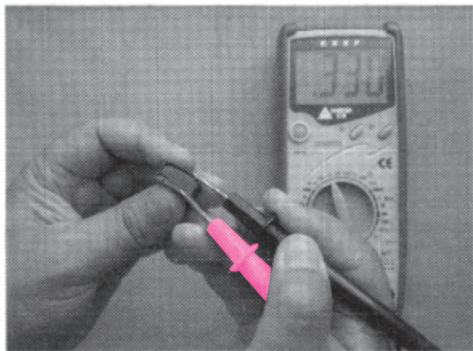


图 7-9 数字万用表检测线圈电阻

### 【重要提醒】

通过检查线圈的直流电阻值，可初步判断继电器是否正常。但通过万用表测量线圈阻值，很难判断线圈是否存在匝间短路。

## 3. 检测吸合电压和吸合电流

检测继电器的吸合电压和吸合电流时可按图 7-10 所示接好稳压电源、万用表、继电器。将继电器线圈串联到电路中，稳压电源的正、负极不要接错。接好后稳压电源通电，由低到高逐渐增加电压数值，直到听见衔铁发出“咔”的一声，表明磁铁已将衔铁吸住，此时稳压电源、万用表显示的数值便是吸合电压和吸合电流的值。

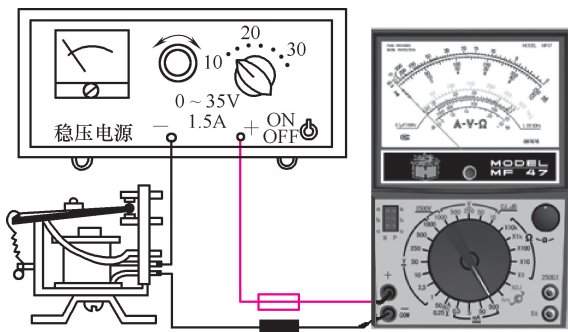


图 7-10 继电器吸合电压和吸合电流测定接线图



### 【重要提醒】

吸合电压和电流不是绝对固定的，多做几次会发现每次得到的吸合电压和电流会略有不同，但大体上会在某一数值附近。一般额定工作电压是吸合电压的 1.3 ~ 1.5 倍。

#### 4. 测量释放电压和释放电流

测量释放电压和释放电流的连接方式与测量吸合电压和吸合电流一样，当继电器发生吸合后，逐渐降低供电电压，当听到继电器再次发生释放声音时，记下此时的电压和电流，亦可多尝试几次而取得平均的释放电压和释放电流。

一般情况下，继电器的释放电压为吸合电压的 10% ~ 50%，如果释放电压太小（小于 1/10 的吸合电压），则不能正常使用了，这样会对电路的稳定性造成威胁，工作不可靠。

## 7.2 扬声器

### 7.2.1 扬声器简介

151

#### 1. 扬声器的种类

扬声器俗称喇叭，是**电声换能器件**，在电声领域很常见。扬声器的种类繁多，而且价格相差很大。

1) 按换能原理，可分为电动式（即动圈式）、静电式（即电容式）、电磁式（即舌簧式）、压电式（即晶体式）等几种，后两种多用于农村有线广播网中。

2) 按频率范围，可分为低频扬声器、中频扬声器、高频扬声器，这些常在音箱中作为组合扬声器使用。

3) 按纸盆形状，可分为圆形扬声器、椭圆形扬声、锥形扬声器和球顶形扬声器。

4) 按音圈阻抗，可分为低阻抗扬声器和高阻抗扬声器。

#### 2. 扬声器的结构

动圈式扬声器主要由三部分组成：**振动系统**（包括锥形纸盆、音圈和定心支片等）、**磁路系统**（包括永久磁铁、导磁板和导磁柱等）和**辅助系统**（包括盆架、接线板、压边和防尘罩等）。

球顶扬声器和锥形扬声器的基本结构如图 7-11 所示，它们的共同点是利用导磁板和导磁柱建立磁隙，让音圈悬浮于磁隙中，当音圈通电之后，便会与永磁体产生作用力开始驱动振膜发声。

#### 3. 扬声器的特点

1) 扬声器有两个接线柱（两根引线），当单只扬声器使用时两根引脚不分正负极性；多只扬声器同时使用时，应注意引脚的极性，如图 7-12 所示。

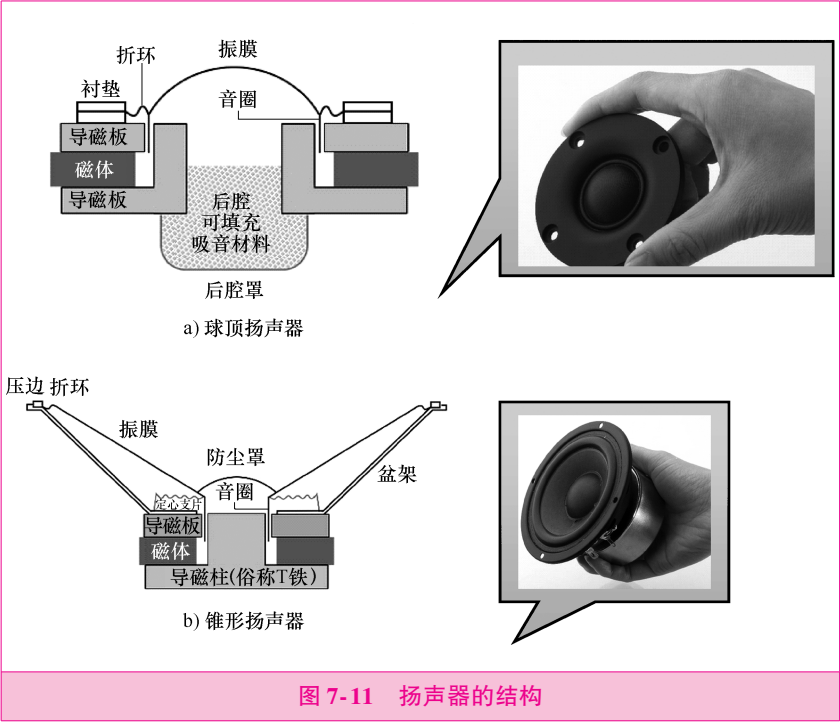


图 7-11 扬声器的结构

2) 扬声器有一个纸盆，它的颜色通常为黑色，也有白色。

3) 扬声器的外形有圆形、方形和椭圆形等几大类。

4) 扬声器纸盆背面是磁铁，外磁式扬声器用螺丝刀的金属部分接触磁铁时会感觉到磁性的存在；内磁式扬声器没有这种感觉，但是外壳内部确有磁铁。

5) 扬声器可装在机器面板上或音箱内。

4. 扬声器的主要性能指标

扬声器的主要性能指标见表 7-4。



图 7-12 扬声器的接线柱

表 7-4 扬声器的主要性能指标

| 性能指标  | 说 明                                                                                           |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 额定功率  | 额定功率又称标称功率或不失真功率，扬声器可在额定功率下长期工作不应损坏。在选择扬声器时应留有一定的功率裕量，使输入扬声器的实际功率限制在额定功率以内                    |
| 额定阻抗  | 额定阻抗是制造厂产品标准所规定的阻抗值，工作于该阻抗下，扬声器可获得最大功率                                                        |
| 灵敏度   | 当输入扬声器的功率为 1W 时，在轴线上 1m 处测出的平均声压，称为灵敏度。灵敏度是衡量扬声器电声转换效率的重要指标                                   |
| 辐射指向性 | 扬声器在不同方向上声辐射本领是不同的，表示这种性能的指标叫辐射指向性。辐射指向性与频率有关，扬声器的辐射指向性随频率升高而增强，一般在 250 ~ 300Hz 以下，没有明显的辐射指向性 |

### 5. 扬声器的尺寸

扬声器按**有效振动半径计算有效尺寸**，如图 7-13 所示。即按纸盆的外沿未压入固定胶圈的直径算，习惯上对扬声器的口径用英寸（in）表示。

我们使用的尺子多是米制，测量纸盆直径为多少厘米，除以 2.54 就是英寸，因为  $1\text{in} = 2.54\text{cm}$ 。椭圆形扬声器，其尺寸的测量，则以椭圆外沿的短轴直径和长轴直径表示，例如， $6\text{in} \times 9\text{in}$ ，即短轴直径  $6\text{in}$ ，长轴直径  $9\text{in}$ 。

在设计和选择扬声器时，扬声器的外径、扬声器深度或高度，这两个数据尤为重要。



图 7-13 扬声器的尺寸

## 7.2.2 扬声器的检测及好坏判断

### 1. 扬声器好坏的检测

#### (1) 测量直流电阻

将万用表置于  $R \times 1$  档，测量扬声器两引脚之间的直流电阻，正常时应比扬声器铭牌阻抗略小。例如， $8\Omega$  的扬声器测量的电阻正常为  $7\Omega$  左右，如图 7-14 所示。测量阻值为无穷大，或远大于它的标称阻抗值，说明扬声器已经损坏。

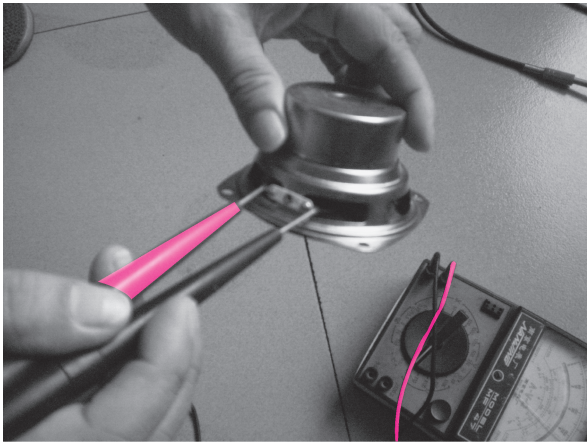


图 7-14 万用表判断扬声器的好坏

#### (2) 听响声

测量直流电阻时，将一只表笔断续碰触引脚，应该能听到扬声器发出“喀喇、喀喇”响声，响声越大越好。声音越清脆，扬声器音质越好。如果响声小而尖，则是音圈有擦圈故障。无响声，说明扬声器音圈被卡死。

### （3）直观检查

仔细观察扬声器有无纸盆破裂的现象。

### （4）检查磁性

用螺丝刀去试磁铁的磁性，磁性越强越好。

## 2. 扬声器相位的判断

如果扬声器在其引脚上没有标出正、负极的字样，我们可以用以下方法来确定扬声器的正、负极性。

1) 将万用表置于直流电流  $\mu\text{A}$  档，将两只表笔分别接扬声器的两引脚，然后用手指轻而迅速地按一下扬声器的纸盆，并及时地观看万用表指针的摆动方向，如指针向右摆，规定红表笔所接为正极，黑表笔所接为负极；如指针向左摆，规定红表笔所接为负极，黑表笔所接为正极。用同样的方法和极性规定去检测其他扬声器并做好标注。这样，扬声器按正、负极串、并联使用，就可达到同相位了。

2) 用一节或两节电池（串联），将电池的正、负极分别接扬声器的两引脚，在电源接通的瞬间注意及时观察扬声器的纸盆振动方向，若纸盆向靠近磁铁的方向运动，此时电池的负极接的是扬声器的正极引脚。交换电池正、负极接通扬声器的两引脚，纸盆向外运动，则说明电池的正极接触的就是扬声器的正极。

### 【重要提醒】

识别扬声器的引脚极性过程中要注意以下两点：

1) 直接观察扬声器背面引线架时，对于同一个厂家生产的扬声器，它的正、负极引脚极性规定是一致的；对于不同厂家生产的扬声器，则不能保证一致，最好用其他方法加以识别。

2) 采用万用表识别高声扬声器的引脚极性过程中，由于高声扬声器的音圈匝数较少，指针偏转角度小，不容易看出来，此时快速按下纸盆，可使指针偏转角度大些。按下纸盆时要小心，切不可损坏纸盆。

## 7.2.3 扬声器的应用

### 1. 扬声器的选择

扬声器在电声系统中是一个较薄弱的组件，却又是一个重要的组件。要想获得优良的放音效果，选择扬声器是很重要的。

扬声器单元一般分为高音、中音、低音三大类，基本上属于各司其职的工作范围。对于制作优良的小口径的低音单元来说（一般泛指低音单元的扬声器口径小于 6.5in），它们一般可以兼顾中音扬声器的作用；而一只设计优秀、具有足够承受功率的高音单元来说，也可以兼顾一部分中音扬声器的作用。因此，在小型书架式或落地式音箱中，只采用一高一低两只扬声器单元的实例是十分普遍的。

要根据使用的场合和对声音的要求，结合各种扬声器的特点来选择扬声器。例如，室外以语音为主的广播，可选用电动式号筒扬声器，如要求音质较高，则应选用电动式扬声

器箱或音柱：室内一般广播，可选单只电动纸盆扬声器做成的小音箱：以欣赏音乐为主或用于高质量的会场扩音，则应选用由高、低音扬声器组合的扬声器箱等。

### 【重要提醒】

选择扬声器时，既要考虑功率，更要关心一下扬声器的材质、线圈质量、工艺品质、品牌价值等因素。**好的扬声器不在于声有多大，而在于声音好不好。**

### 2. 扬声器串联和并联使用

当同一音箱系统使用两只以上的扬声器时，要设法保证流过扬声器的音频电流方向的一致性，这样才能使扬声器的纸盆振动方向保持一致，不至于使空气振动的能量被抵消，降低放音效果。即**扬声器在串联、并联使用时，必须保证相位一致。**

为能做到这一要求，扬声器串联使用时，一只扬声器的正极接另一只扬声器的负极，依次地连接起来；并联使用时，各只扬声器的正极与正极相连，负极与负极相连，这就达到了同相位的要求。

### 3. 使用扬声器的注意事项

1) 扬声器得到的功率不要超过它的额定功率，否则，将烧毁音圈或将音圈振散。电磁式和压电陶瓷式扬声器工作电压不要超过 30V。

2) 注意扬声器的阻抗应与输出线路配合。

3) 在布置扬声器时，要做到声场均匀且有足够的声级，如用单只（点）扬声器不能满足需要，可多点设置，使每一位听众得到几乎相同的声音响度，提高声音的清晰度；有好的方位感，扬声器安装时应高于地面 3m 以上，让听众能够“看”到扬声器，并尽量使水平方位的听觉（声源）与视觉（讲话者）要尽量一致，而且两只扬声器之间的距离也不能过大。

4) 电动号筒式扬声器，必须把音头套在号筒上后才能使用，否则很容易损坏音头。

5) 两个以上的扬声器放在一起使用时，必须注意相位问题。如果是反相，声音将显著削弱。

### 【知识窗】

#### 蜂鸣器

蜂鸣器是一种一体化结构的电子讯响器（见图 7-15），采用直流电压供电，广泛应用于各种需要发声的电器设备，例如，计算机、打印机、复印机、报警器、电子玩具、汽车电子设备、电话机、定时器等电子产品中，主要用来做提示或者报警。

蜂鸣器主要分为压电式蜂鸣器和电磁式蜂鸣器两种类型。压电式蜂鸣器主要由多谐振荡器、压电蜂鸣片、阻抗匹配器及共鸣箱、外壳等组成，有的压电式蜂鸣器外壳上还装有发光二极管。电磁式蜂鸣器主要由振荡器、电磁线圈、磁铁、振动膜片及外壳等组成。



图 7-15 蜂鸣器

7.3 传声器

7.3.1 传声器简介

1. 传声器的作用

传声器俗称话筒，又称为麦克风，是一种把声音信号转换成电信号的换能器件，用于各种扩音设备中。

2. 传声器的种类

传声器的种类很多，见表 7-5。

表 7-5 传声器的种类

| 分类标准         | 种 类  | 说 明                                                                                                                                                                                        |
|--------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按工作<br>方式分   | 电容式  | 利用电容器的一个电极作为传声器的振膜，当振膜振动时，振膜和固定的后极板间的距离跟着变化，产生的可变电容量与传声器本身所带的前置放大器一起产生信号电压。特点：频率特性好，幅频特性曲线平坦，无方向性；灵敏度高，噪声小，音色柔和；输出信号电平比较大，失真小，瞬态响应性能好。但工作特性不够稳定，低频段灵敏度随着使用时间的增加而下降，寿命比较短；工作时需要直流电源，造成使用不方便 |
|              | 动圈式  | 又称为电动式传声器，由振膜带动线圈振动，从而使在磁场中的线圈感应出电压。特点：结构牢固，性能稳定，经久耐用，价格较低；频率特性良好，50 ~ 15000Hz 频率范围内幅频特性曲线平坦；指向性好；无需直流工作电压，使用简便，噪声小                                                                        |
|              | 履带式  | 这是一种速率型传声器，即通过对穿过其中的空气分子的运动速率做出反应来产生声音信号。其基本工作原理是将一小条皱皱的金属带子松松地悬挂在磁场中，当空气分子运动时，它也就跟着运动，从而对磁场中的磁力线形成切割，然后产生声音信号。履带式传声器是一款在商业上取得巨大成功的指向性传声器                                                  |
| 按信号传<br>输方式分 | 有线式  | 连接传声器的导线通常为平衡式，也称为 XLR 卡侬线，这种线由三个端子构成，即 1 地、2 正、3 负，这种连接方式一般不会有噪声、磁场干扰等问题，但传输距离有限制                                                                                                         |
|              | 无线式  | 按照发射使用频率可分为 UHF 无线传声器和 VHF 无线传声器；按照接收方式可分为自动选讯接收无线传声器和非自动选讯接收无线传声器；按照振荡方式可分为石英锁定和相位锁定频率合成传声器；按照接收机频道数可分为单频道、双频道和多频道传声器                                                                     |
| 按制造<br>组件分   | 真空管式 | 在场效应晶体管（FET）应用于传声器之前，真空管便已应用于传声器。相对采用半导体器件的传声器，真空管传声器的音色更有温暖感，对语言、单件乐器以及自然界许多声音的录音特别有效，所以许多录音师一直在追求真空管传声器的音色效果。为此，近年来许多厂家采用更高质量的真空管和电路元件，推出了噪声电平已大为降低、工作稳定可靠的真空管传声器                        |
|              | 晶体管式 | 场效应晶体管（FET）传声器也称驻极式传声器，其工作稳定性高，噪声小，使用寿命长，价格低廉。具有宽广的动态范围，出众的频率响应                                                                                                                            |



(续)

| 分类标准   | 种 类   | 说 明                                                                             |
|--------|-------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 按使用方向分 | 前述式   | 使用时与音源成 90°，拾音时传声器正上方对着声源                                                       |
|        | 单面旁述式 | 使用时与音源成平衡状，拾音时传声器一侧对着声源                                                         |
|        | 双面旁述式 | 使用时与音源成平衡状，拾音时传声器两侧均可对着声源                                                       |
|        | 全方向式  | 在平面上 360°都能均匀拾音                                                                 |
| 按外形分   | 手持式   | 应用最为广泛，使用灵活、耐用                                                                  |
|        | 领夹式   | 也称纽扣式，适用于须运用双手的演讲者，一般用于演讲、播音、室内采访                                               |
|        | 头戴式   | 常用于身体移动幅度大的场合，如歌舞表演、培训等场合，头戴式可比较牢固地让麦克风贴近嘴巴，拾音清晰稳定，肢体也可灵活摆动                     |
|        | 鹅颈式   | 一般多用于会议、演讲等较为庄重的场合，因为它体积较小、造型优雅、语言拾音效果出色                                        |
|        | 平面式   | 也叫平板式或者界面式，多用于贵宾室、圆桌会议及视频会议中，由于它近似隐藏性的外形，不会抢走贵宾的风采，加上敏锐的拾音效果，说话者便无须扯着嗓门或凑近麦克风说话 |

3. 传声器的主要特性

传声器作为音频系统的第一环节，应具备结构坚固、性能稳定的品质，能满足在特定使用条件下的基本要求。传声器的主要特性见表 7-6。

表 7-6 传声器的主要特性

| 序号 | 主 要 特 性 | 含义及说明                                                                                                                                                                                                             |
|----|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 灵敏度     | 用来表示传声器的声-电转换效率，当传声器的振膜受到声压的作用时，在负载上所产生的电动势或电压的数值，称为传声器的灵敏度。视负载情况不同，分为开路（空载）灵敏度和带载灵敏度                                                                                                                             |
| 2  | 频率响应    | 是指传声器灵敏度依从频率的关系，简称频响。灵敏度与频率之间的关系曲线叫频响曲线。在给定的频率范围内，频响的不均匀度以 dB 来度量。<br>频响特性是评价传声器音质的最重要的标准，如果频响曲线从低端到高端都很平坦，则说明它能真实地再现原声，而事实上即使是最高级的传声器也存在高频提升、低频下降的情况。因此，在一定频带宽度内频响的不均匀度越小，其有效频率范围就越窄。为获得良好的音质，要求传声器的频响应具有宽而平直的特性 |
| 3  | 指向性     | 是指传声器的灵敏度随声波入射方向变化的特性，又称为方向性。不同的声波入射角所得入射角频率曲线，就是传声器的指向频响曲线。通常以传声器与声源同声轴 0°（正向）、90°（侧向）和 180°（背向）这三种角度来测定其频响，从中确定其频率特性，正背相差越大，指向性就越强。<br>许多专业传声器可具备几种方向性，由转换开关控制                                                  |
| 4  | 输出阻抗    | 是指传声器的交流内阻，又称源阻抗。常用传声器的输出阻抗有低阻抗（200Ω、600Ω）和高阻抗（10kΩ、20kΩ）以及 115kΩ（驻极体传声器）几种规格。有的传声器设有阻抗变换装置。<br>广播电视系统、剧场一般最常用的是 200Ω 低阻抗传声器，它的抗交流感应能力比高阻抗传声器好                                                                    |



(续)

| 序号 | 主要特性  | 含义及说明                                                                                                                                                |
|----|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5  | 最大声压级 | 在强声压作用下，传声器输出产生非线性谐波失真达到 0.5%~1% 时的声压级称为最大声压级。它是衡量传声器性能优劣的一项重要指标                                                                                     |
| 6  | 等效噪声级 | 是指传声器输出的固有噪声电压值与传声器受外界声压作用时所产生的电压之比。<br>传声器的等效噪声级与灵敏度有关，在固有噪声相同时，传声器灵敏度越高，等效噪声级越小。通常高保真传声器的等效噪声级 $\leq 26\text{dB}$                                  |
| 7  | 失真度   | 是指声源信号经传声器拾音以后声频畸变的程度。当作用于传声器的声压超过最大声压级时，传声器输出信号的非线性畸变会超过允许范围而不能校正                                                                                   |
| 8  | 动态范围  | 传声器所能拾取声音音量的大小，上限受到线性失真（最大声压级）的限制，下限受到等效噪声级的限制，因此，传声器的动态范围是最大声压级与等效噪声级之差。显然，最大声压级越高，等效噪声级越低。传声器的动态范围就越大，越能适应拾取音量变化范围大的声音的需要。专业高级传声器的动态范围一般在 110dB 左右 |

7.3.2 电容式传声器

1. 电容式传声器简介

电容式传声器是一种性能相对较好的传声器，它的工作核心是电容器。主要有三种类型：**声频式、射频式、驻极体式**。本节主要介绍最常用的驻极体传声器。

电容式传声器主要由**电容器、极化电源、负载电阻、前置放大器**等组成，如图 7-16 所示。电容器的一个极板用作拾取声波的振膜，用导线固定在传声器上。另一个极板直接固定在传声器上。电容器、直流电源和负载电阻构成了一个电流回路。电容器的两个极板相距 20~50mm，形成 50~200pF 的电容。

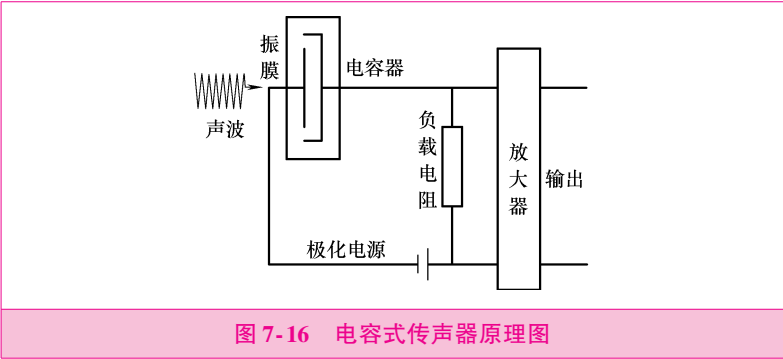


图 7-16 电容式传声器原理图

电容式传声器其实**需要两组电源**，一组为预放大器电源（约 1.5~3V）另一组是电容极头的极化电压（约 48~52V）。现在调音台一般都有幻象供电，利用传声器电缆内两根音频芯线作为直流电路的一根芯线，利用屏蔽层作为直流电路的另一根芯线，由调音台向电容式传声器馈电，这样既不影响声音的正常传输，又节约了芯线，所以称为幻象供电。

电容式传声器**特点**是，频响宽、灵敏度高、非线性失真小、瞬态响应好，也是电声特

性最好的一种传声器。其缺点是，防潮性差、机械强度低、价格稍贵、使用稍麻烦。

2. 驻极体传声器的类型

驻极体传声器包括机装型和外置型两类，其外形如图 7-17 所示，电子制作时一般使用机装型驻极体传声器。



常见的机装型驻极体传声器形状多为圆柱形，其常见类型见表 7-7。

表 7-7 机装型驻极体传声器的类型

| 分 类 方 法 | 类 型                                                                                                                                                          |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按直径大小分  | 有 $\phi 6\text{mm}$ 、 $\phi 9.7\text{mm}$ 、 $\phi 10\text{mm}$ 、 $\phi 10.5\text{mm}$ 、 $\phi 11.5\text{mm}$ 、 $\phi 12\text{mm}$ 、 $\phi 13\text{mm}$ 等多种规格 |
| 按引脚电极数分 | 两端式，三端式                                                                                                                                                      |
| 按引脚形式分  | 直插式（可直接在电路板上插焊），引线式（带软屏蔽电线）、焊脚式（不带引线）                                                                                                                        |
| 按体积大小分  | 普通型，微型（目前，微型驻极体传声器已被广泛应用于各种微型录音机、微型数码摄像机、手机、笔记本电脑等电子产品中）                                                                                                     |

将机装型驻极体传声器装入各式各样的带有座架或夹子的外壳里，并接上带有两芯或三芯插头的屏蔽电线（有的还接了开关），就做成了我们经常见到的形形色色、可方便移动的外置型驻极体传声器。

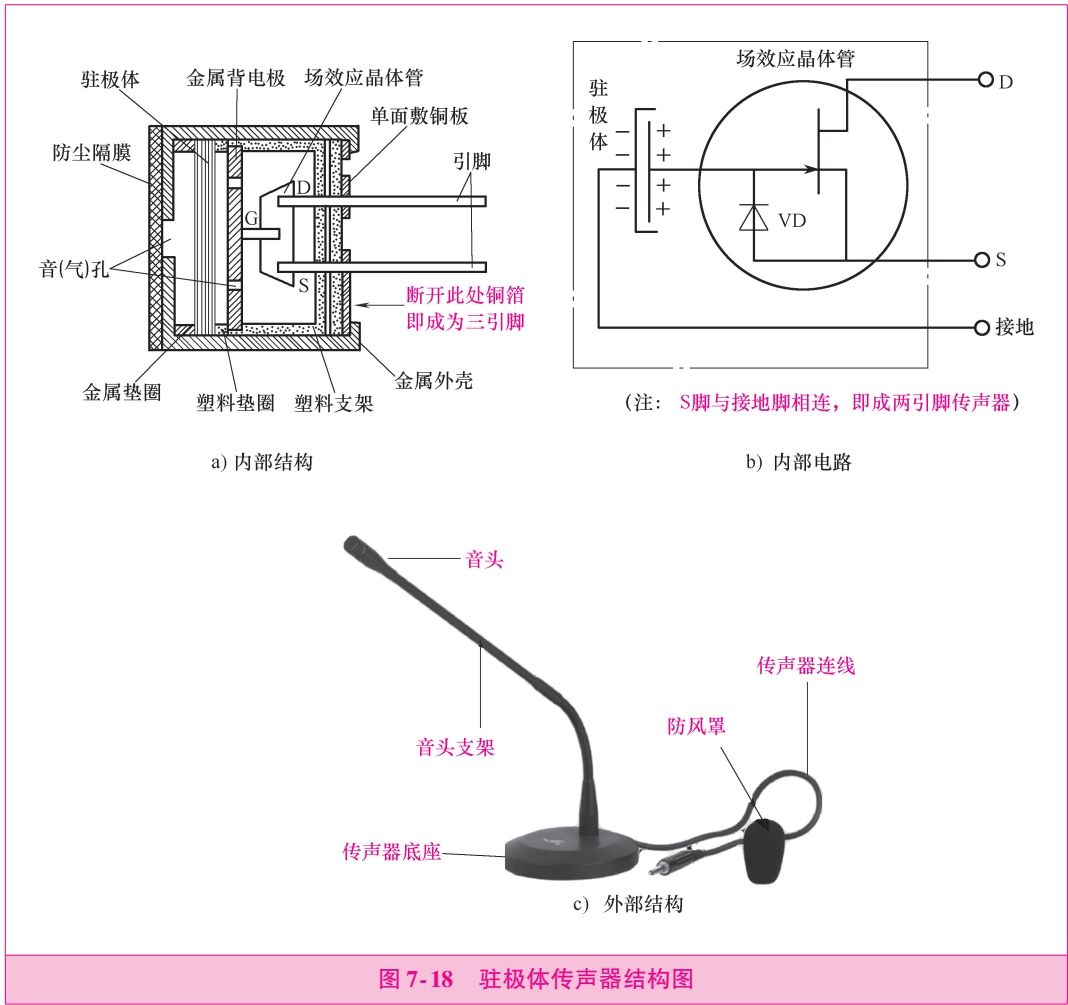
传声器在电路图中常用文字符号“MIC”或“B”表示。

3. 驻极体传声器的结构

驻极体传声器的结构如图 7-18 所示，它主要由“声-电”转换和阻抗变换两部分组成。

“声-电”转换的关键元件是驻极体振动膜片，它以一片极薄的塑料膜片作为基片，在其中一面蒸发上一层纯金属薄膜，然后再经过高压电场处理形成“驻极体”（也称“永久电荷体”）。振动膜片的金属薄膜面向外（正对音孔），并与传声器金属外壳相连；另一面靠近带有气孔的金属极板，其间用很薄的塑料绝缘垫圈隔离开。这样，振动膜片与金属极板之间就形成了一个“电容器”。金属极板与专用场效应晶体管的栅极 G 相接，场效应晶

体管的源极 S 和漏极 D 作为传声器的引出电极。这样，加上金属外壳，驻极体传声器一共有三个引出电极，其内部电路如图 7-18b 所示。如果将场效应晶体管的源极 S（或漏极 D）与金属外壳接通，就使得传声器只剩下了两个引出电极。



由于场效应晶体管必须工作在合适的外加直流电压下，所以驻极体传声器属于有源器件，即在使用时必须给驻极体传声器加上合适的直流偏置电压，才能保证它正常工作，这是有别于一般普通动圈式、压电陶瓷式传声器之处。

4. 主要参数

表征驻极体传声器各项性能指标的参数见表 7-8。

表 7-8 驻极体传声器主要参数

| 主要参数 | 说明                                                               |
|------|------------------------------------------------------------------|
| 工作电压 | 指驻极体传声器正常工作时，所必须施加在传声器两端的最小直流工作电压。通常厂家给出的典型值有 1.5V、3V 和 4.5V 等三种 |

(续)

| 主要参数   | 说 明                                                                                                                                                 |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工作电流   | 指静态时所通过的直流电流。通常在 0.1 ~ 1mA                                                                                                                          |
| 最大工作电压 | 超过该极限电压时，驻极体传声器内部的场效应晶体管就会被击穿损坏                                                                                                                     |
| 灵敏度    | 指传声器在一定的外部声压作用下所能产生音频信号电压的大小，其单位通常用 mV/Pa（毫伏/帕）或 dB（0dB = 1000mV/Pa）。一般驻极体传声器的灵敏度多在 0.5 ~ 10mV/Pa 或 -66 ~ -40dB 范围内。传声器灵敏度越高，在相同大小的声音下所输出的音频信号幅度也越大 |
| 频率响应   | 普通产品频率响应的范围在 100Hz ~ 10kHz，质量较好的传声器为 40Hz ~ 15kHz，优质传声器可达 20Hz ~ 20kHz                                                                              |
| 输出阻抗   | 驻极体传声器的输出阻抗一般小于 3kΩ                                                                                                                                 |
| 固有噪声   | 一般驻极体传声器的固有噪声都很小，为微伏级电压                                                                                                                             |
| 指向性    | 也叫方向性，是指传声器灵敏度随声波入射方向变化而变化的特性。传声器的指向性分单向性、双向性和全向性等三种。常用的机装型驻极体传声器绝大多数是全向性传声器                                                                        |

5. 引脚识别方法

驻极体传声器的引脚识别方法很简单，无论是直插式、引线式或焊脚式，其底面一般都是印制电路板，如图 7-19 所示。对于印制电路板上上面有两部分敷铜的驻极体传声器，与金属外壳相通的敷铜应为“接地端”，另一敷铜则为“电源/信号输出端”（有“漏极 D 输出”和“源极 S 输出”之分）。对于印制电路板上上面有三部分敷铜的驻极体传声器，除了与金属外壳相通的敷铜仍然为“接地端”外，其余两部分敷铜分别为“S 端”和“D 端”。有时引线式传声器的印制电路板被封装在外壳内部，无法看到（如国产 CRZ2-9B 型），这时可通过引线来识别：屏蔽线为“接地端”，屏蔽线中间的两根芯线分别为“D 端”（红色线）和“S 端”（蓝色线）。如果只有一根芯线（如国产 CRZ2-9 型），则该引线为“电源/信号输出端”。



图 7-19 驻极体传声器的引脚识别

6. 驻极体传声器的检测

下面以 MF50 型指针式万用表为例，介绍在业余条件下使用万用表快速判断驻极体传声器的极性、检测驻极体传声器的好坏及性能的具体方法。

### （1）判断极性与好坏

1) 判断极性。由于驻极体传声器内部场效应晶体管的漏极 D 和源极 S 直接作为传声器的引出电极，所以只要判断出漏极 D 和源极 S，也就不难确定出驻极体传声器的电极。如图 7-20 所示，将万用表拨至“ $R \times 100$ ”或“ $R \times 1k$ ”档，黑表笔接任意一极，红表笔接另外一极，读出电阻值；对调两表笔后，再次读出电阻值，并比较两次测量结果，阻值较小的一次中，黑表笔所接应为源极 S，红表笔所接应为漏极 D。

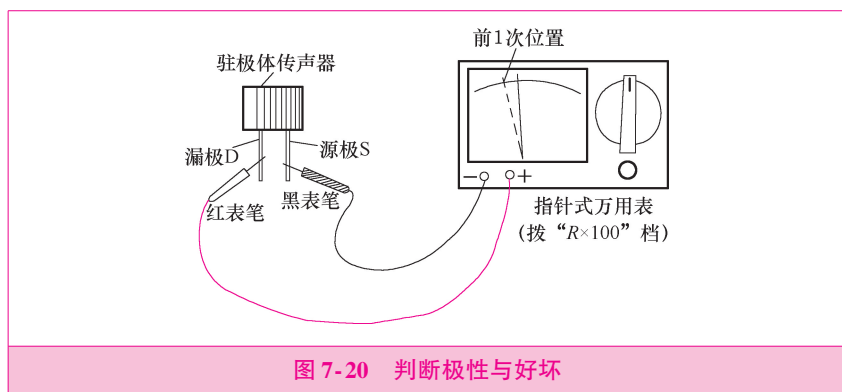


图 7-20 判断极性与好坏

2) 判断好坏。在上面的测量中，驻极体传声器正常测得的电阻值应该是一大一小。如果正、反向电阻值均为 $\infty$ ，则说明被测传声器内部的场效应晶体管已经开路；如果正、反向电阻值均接近或等于 $0\Omega$ ，则说明被测传声器内部的场效应晶体管已被击穿或发生了短路；如果正、反向电阻值相等，则说明被测传声器内部场效应晶体管栅极 G 与源极 S 之间已经开路。由于驻极体传声器是一次性压封而成，所以内部发生故障时一般不能维修，弃旧换新即可。

### （2）检测灵敏度

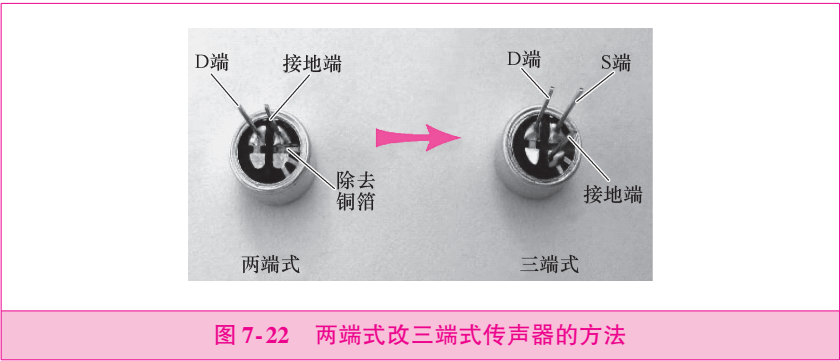
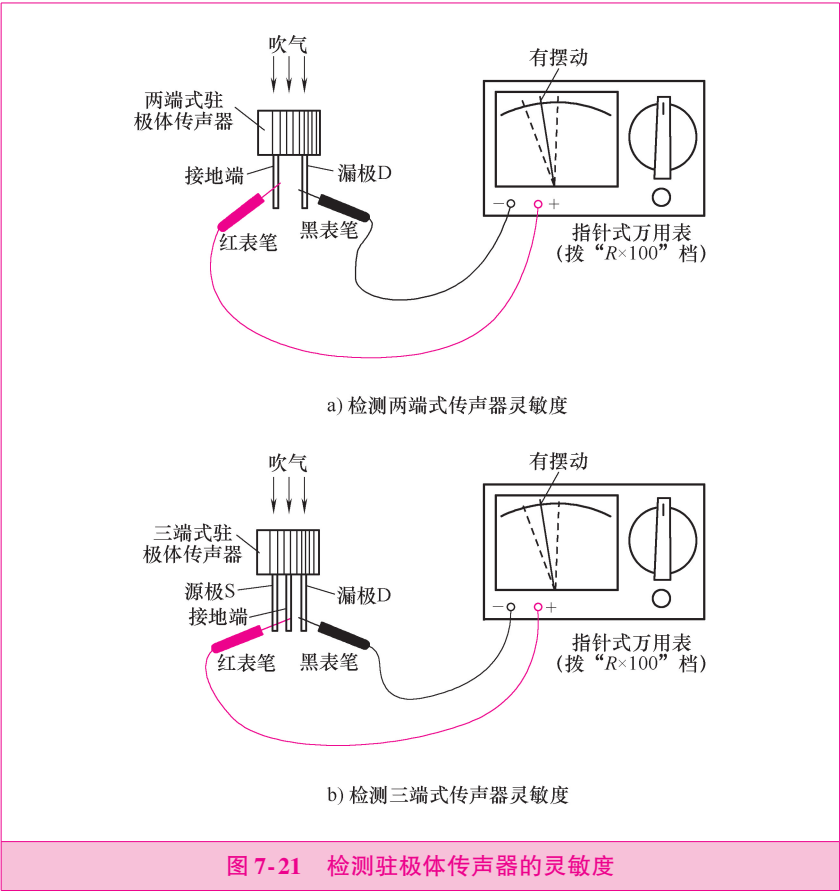
将万用表拨至“ $R \times 100$ ”或“ $R \times 1k$ ”欧姆档，按照图 7-21a 所示，黑表笔（万用表内部接电池正极）接被测两端式驻极体传声器的漏极 D，红表笔接接地端（或红表笔接源极 S，黑表笔接接地端），此时万用表指针指示在某一刻度上，再用嘴对着传声器正面的入声孔吹一口气，万用表指针应有较大摆动。指针摆动范围越大，说明被测传声器的灵敏度越高。如果没有反应或反应不明显，则说明被测传声器已经损坏或性能下降。

对于三端式驻极体传声器，按照图 7-21b 所示，黑表笔仍接被测传声器的漏极 D，红表笔同时接通源极 S 和接地端（金属外壳），然后按相同方法吹气检测即可。

## 7. 两端式改三端式的方法

在电子制作或维修时，如果发现所用的三端式驻极体传声器已经损坏，而手头一时没有合适的替换品，可不妨用一个体积大小相同、灵敏度等主要参数相近的普通两端式驻极体传声器加工改造后代替。

其方法是，用刻刀划断两端式驻极体传声器背面与金属外壳相连的焊脚敷铜箔，为金属外壳焊接上独立的引线，则原有的两个焊脚加上金属外壳（接地端），就构成了一个三端式驻极体传声器，如图 7-22 所示。



7.3.3 动圈式传声器

1. 动圈式传声器的结构

动圈式传声器是一种最常用的传声器。它的内部结构如图 7-23 所示，主要由振动膜片、音圈、永久磁铁和升压变压器等组成。



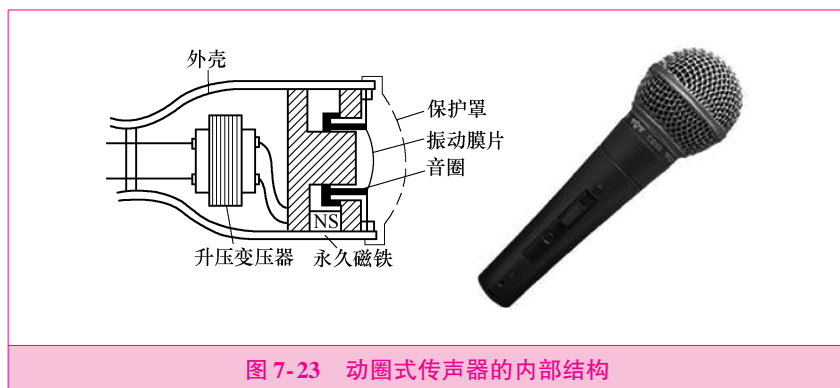


图 7-23 动圈式传声器的内部结构

动圈式传声器的外部结构主要由**风罩、开关、卡侬头、信号线和插头**等组成，如图 7-24 所示。



图 7-24 动圈式传声器的外部结构

## 2. 动圈式传声器的工作原理

当人对着传声器讲话时，膜片就随着声音前后颤动，从而带动音圈在磁场中作切割磁力线的运动。根据电磁感应原理，在线圈两端就会产生感应音频电动势，从而完成了声电转换。为了提高传声器的输出感应电动势和阻抗，还需装置一只升压变压器。

### 【重要提醒】

动圈式传声器结构简单、稳定可靠、使用方便、固有噪声小，被广泛用于语言广播和扩声系统中。但缺点是灵敏度较低、频率范围窄。近几年已有专用动圈式传声器，其特性和技术指标都较好。

## 3. 使用动圈式传声器的注意事项

### (1) 必须使用专用电缆馈送信号

传声器输出信号非常微弱，必须使用专用屏蔽电缆作信号传输线，并使屏蔽层与传声器的外壳良好连接，另一端与电声设备的外壳良好连接，这样才能有效减小周围电磁场的干扰。另外，传输线应尽量短且要避开干扰源。



## (2) 采用平衡输入可有效减小干扰

所谓平衡输入是指传输线有两根导线，干扰信号可以互相抵消，达到抗干扰的目的。同时，平衡线传输也不容易干扰别的电气设备。不平衡输入是采用一根芯线的电缆，用屏蔽层作信号线的另一端。这种接法成本低，但容易受干扰信号影响，一般仅用于传声器线较短的家用音响设备上。

## (3) 注意防振

强烈的振动会使传声器磁钢退磁而降低灵敏度，甚至会使磁钢移位或脱落而造成音头报废。使用时应做到轻拿轻放，不要用大力吹气或敲打传声器，避免传声器跌落到地上。

## (4) 注意传声器的极性

用几只传声器拾音时，要使各传声器的极性相同（即相位相同），以免各传声器的信号相互抵消。

## (5) 注意近区效应

所谓近区效应是指近距离使用传声器时，对低频有提升作用，从而增加声音的“亲切感”，但其副作用是清晰度会降低。为使用灵活方便，有的传声器上设了一个低频衰减开关，当打开这个开关时，传声器就衰减输出信号中的低音成分。这个开关一般有三档：OFF、MUSIC 与 VOICE，后两者有时也简写为 M 与 V，前者是不衰减低频信号，后者是衰减低频信号。

# 4. 动圈式传声器的检测

## (1) 外部检查

传声器发生故障时，**首先应根据故障现象进行外部检查**。如传声器无声故障，先查一下接线是否松脱、开关有无松动、接触不良、插头有无脱焊等；如发生失真，则应先查一下音头是否受潮，音圈与磁钢间是否相碰；然后用万用表检查连线的通断、线绳的芯线和屏蔽线有无断路或者短路等。通过外观检查和简单电气检测，有可能发现故障所在部位。

## (2) 万用表检测

用指针式万用表或数字万用表测量传声器阻抗，**一般高阻抗传声器的直流电阻值为  $1 \sim 2\text{k}\Omega$ ，低阻抗传声器约为几十欧**，如图 7-25 所示。



图 7-25 检测传声器的直流电阻值

首先把传声器手柄上的开关拨到 ON 处，然后将指针式万用表置于  $R \times 100$  档，两支

表笔与传声器插头的两端相连接。万用表应指示出一定的直流电阻值，如图 7-25a 所示。此电阻值应该接近传声器上标明的标称值。如果电阻值为零或为无穷大，则表示传声器内部可能已经短路或断路。

数字万用表可以用  $200\Omega$  或  $2k\Omega$  欧姆档来检测传声器的直流电阻值，如图 7-25b 所示。如果显示为 0 或者溢出符号“1”，说明传声器内部短路或断路。

### 【知识窗】

#### 动圈式和电容式传声器的区别

动圈式传声器是利用电磁感应的原理，声音的振动带动在磁场中的线圈振动，这一振动将切割磁力线，产生感应电流，从而将声音信号转变为电流信号。其优点是，音质好，不需要电源供给。

电容式传声器是利用电容器充放电的原理，声音的振动带动了电容器的一个极板，该极板的振动改变了极板间距离，从而改变了电容。电容变大时，电源对其充电；电容变小时电容器放电，这两种情况都会使电路中出现电流，从而将声音信号变为电流信号。其优点是，保真度好。

一般来讲（当然也有例外），电容式传声器在灵敏度和扩展后的高频（有时也会是低频）响应方面要优于动圈式传声器。

## 7.4 开关件和接插件

### 7.4.1 开关件

#### 1. 开关件的作用

通俗地说，开关件就是能够实现电路开与关、或者转换作用的控制元件。

最常见的开关件是电灯的电门开关，它属于强电类的开关件，这里只介绍电子电路中使用的开关。电子电路的工作电压通常比较低，工作电流比较小，所以电子电路中的开关，除电门开关外，一般属于小信号工作状态的元件。

#### 2. 开关件的类型及电路符号

开关件主要有两大类：一是机械式开关；二是电子开关，如晶体管构成的电子开关，二极管构成的电子开关。

机械式开关件需要人工的方法改变其工作状态，图 7-26 为常用开关件的外形及电路符号。

### 【重要提醒】

各种开关的电路符号的两点识图信息：

- 1) 能够表示开关件有几根引脚，如果是多组开关能表示每组开关中有几根引脚。
- 2) 能够表示有几个刀片，一个或多个，从而可以识别是几刀几掷的开关件。

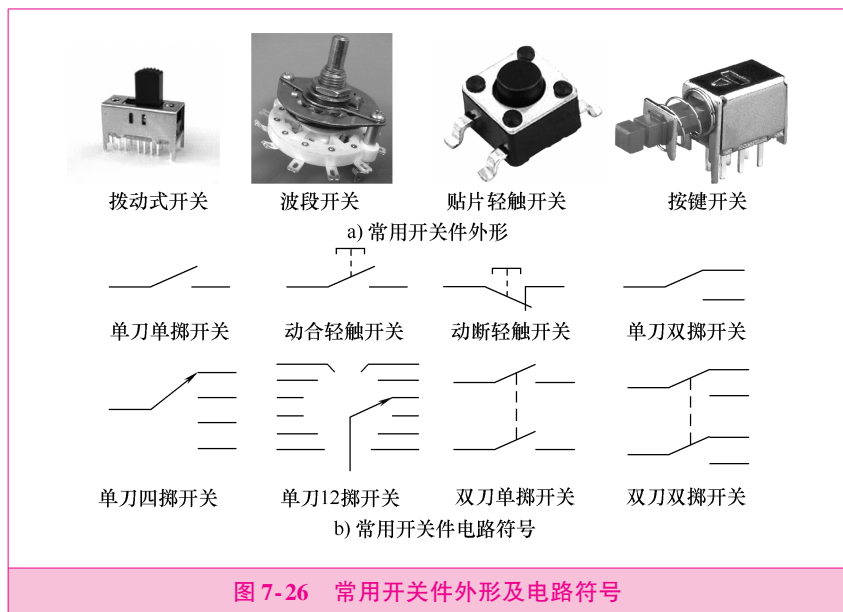


图 7-26 常用开关件外形及电路符号

### 3. 开关件的外形特征

尽管开关件有不同的外形，体积大小不同，开关的引脚数目不同，操纵方式也不尽相同，但还是有一些外形特征的共同点。

1) 一般开关件**都有一个操纵柄**，它用来控制开关本身开或关的工作状态。开关操纵柄控制形式有多种，有的是拨动式的，有的则是转动式的，有的是上下按动的。

2) 开关件的**引脚至少是 2 只**。只有 2 只引脚的开关，在电路中引脚的接法可以不分。大量应用的开关件引脚都多于 2 只，多于两只引脚的开关中各引脚都有它特定的作用，一般情况下，各引脚之间不能互换。

3) 开关件的外壳作用之一是用来固定开关，外壳与各引脚之间绝缘。同时，开关件的金属外壳接电路中的地线，这样还有屏蔽、抗干扰的作用。

### 4. 开关件的主要参数

- 1) 额定工作电压。
- 2) 额定工作电流。
- 3) 绝缘电阻。
- 4) 接触电阻。
- 5) 开关的使用寿命。

### 【重要提醒】

使用开关必须注意两个最重要参数：一个是**额定工作电压**，另一个是**额定工作电流**。

### 5. 开关件的基本工作原理

下面以单刀双掷开关为例介绍开关件的基本工作原理：单刀双掷开关有一个刀片触点和两个静触点，由于刀片触点可以变动接触位置，所以又称为动片触点，这种开关有两种

工作状态，图 7-27 所示为单刀双掷开关两种状态下的等效电路。

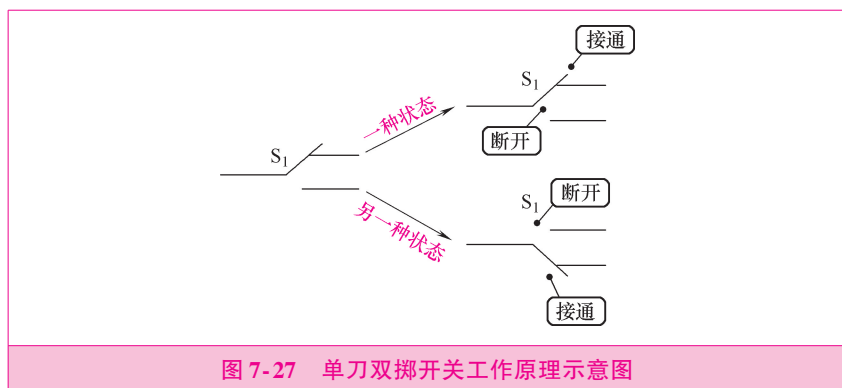


图 7-27 单刀双掷开关工作原理示意图

- 1) 当开关操纵柄处于一个位置时，刀片触点与一个定片触点之间呈接通状态，而与另一个定片触点之间呈断开状态，这时开关接通一路电路。
- 2) 当将操纵柄转换到另一个位置时，开关接通另一路电路。

#### 6. 开关件的检测

检测开关件的方法比较简单，具体步骤和方法如下。

- 1) 首先直观检查开关操纵柄是否松动、能否正常转换到位。
- 2) 用万用表  $R \times 1$  档测量其引脚的电阻值。具体方法是，一支表笔接开关的一根引脚，另一支表笔接另一根引脚。开关处于接通状态时，所测量的阻值应为  $0\Omega$ ，至少小于  $0.5\Omega$ ，否则可认为开关存在接触不良故障。
- 3) 在测量接触电阻的基础上，表笔接线不变，将量程转换到  $R \times 10k$  档，同时将开关转换到断开状态，此时所测量的电阻应为无穷大，至少大于几百千欧。

#### 7. 开关件的常见故障

##### 【重要提醒】

开关的常见故障有漏电、接触不良、不能接通和操纵柄断或松动等。

开关漏电，对于 220V 电源开关来说，漏电是非常危险的，要立即更换。若开关接触不良，可进行修理或更换。

开关的外形、安装位置等必须与整机相协调，要便于操作。

### 7.4.2 接插件

#### 1. 接插件的作用及应用要求

接插件俗称连接器，主要用于传输信号和电流，控制所连接电路的通、断。

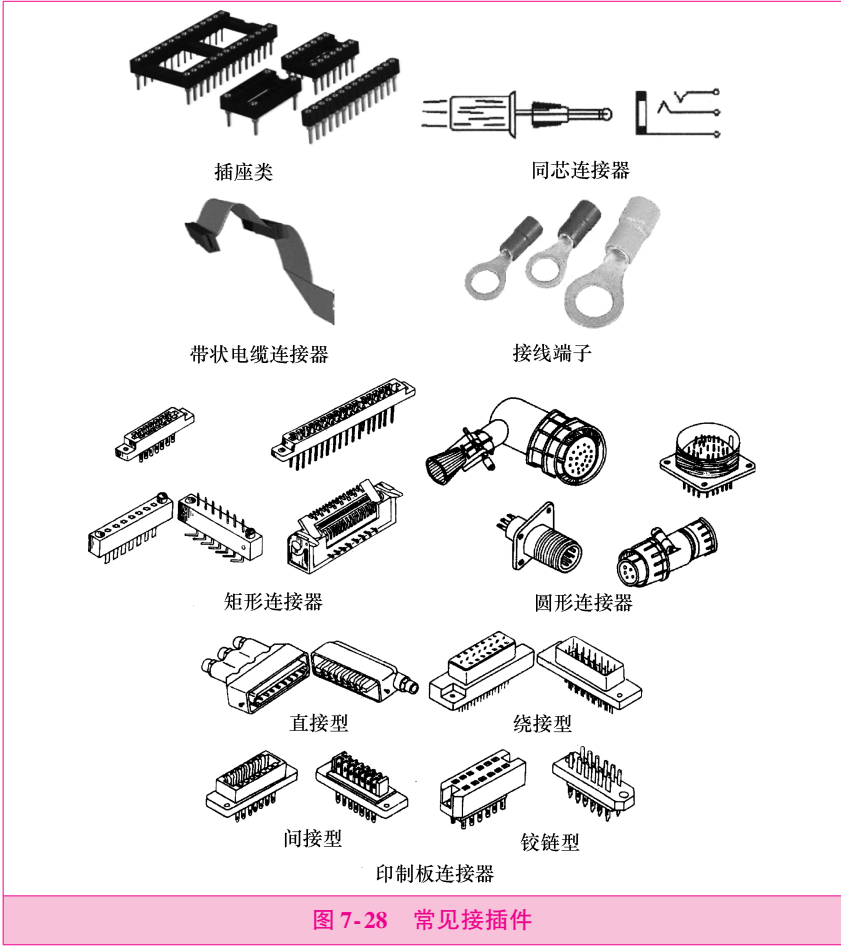
在具体应用中，要求接插件接触可靠，有好的导电性、高的绝缘性，有足够的机械强度和适当的插拔力。

#### 2. 常用接插件的种类及外形

- 1) 按使用部位，接插件有用于电子电器与外部设备连接的接插件和用于电子电器内

部电路板间电路连接的接插件两大类。

2) 按作用分，接插件主要有**插座类**、**连接器和接线端子**三大类，如图 7-28 所示。常见的接插件有矩形连接器、圆形连接器和印制板连接器。



3. 接插件的主要参数（见表 7-9）

表 7-9 接插件的主要参数

| 序号 | 技术参数  | 说 明                                                |
|----|-------|----------------------------------------------------|
| 1  | 负载能力  | 在规定条件下，能在给定的电压下通过的额定电流值                            |
| 2  | 接触电阻  | 在规定条件下一对接合的接触件的电阻值                                 |
| 3  | 绝缘电阻  | 两个电极之间以及电极与壳体之间的绝缘电阻值                              |
| 4  | 插拔力   | 将压着后的端子装在壳体内，并去掉外部锁扣后将其与插座沿轴向进行插拔所需的插入力和拔出力        |
| 5  | 端子保持力 | 将正确压接后的连接器固定于壳体内，沿连接器方向以一定速度拉伸线体，使连接器从壳体脱出时所需的最小拉力 |
| 6  | 插针保持力 | 将针座固定，由顶端对插针施加推力，使插针与壳体之间发生位移所需的推力                 |

4. 接插件的选用

- 1) 选用接插件应根据具体使用环境和电气、机械要求，留有一定余量。
- 2) 在安装维修时，先要进行外观检查，再用万用表进行接通和断开电阻的测量。
- 3) 接插件接触表面要保持干净，同时要避免不必要的插拔。
- 4) 在一些对安全要求较高的电路中，可并联多个接插件，以提高工作可靠性。
- 5) 一般来说，应尽量减少使用接插件的数量。

5. 接插件的检测

一般采用外表直观检查和万用表测量检查两种方法。  
通常的做法是先进行外表直观检查，然后再用万用表进行检测。

7.5 传感器

7.5.1 传感器简介

1. 传感器的功能

传感器能感受到被测量（温度、湿度、速度、亮度、声音、磁场）的信息，并能将检测感受到的信息，按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。

可以说，人类五官是天然的传感器，传感器是人类五官的延长，人们把它称之为“电五官”。我们可以将传感器的功能与人类五大感觉器官相比拟，如图 7-29 所示。



图 7-29 人体五官感觉与传感器

2. 传感器的类型

传感器种类非常多，有关文献报道传感器的种类有 3 万余种。传感器的分类见表 7-10。

表 7-10 传感器的分类

| 分 类 方 法 | 种 类                                                             |
|---------|-----------------------------------------------------------------|
| 按用途分    | 压力敏传感器、力敏传感器、位置传感器、液面传感器、能耗传感器、速度传感器、加速度传感器、射线辐射传感器、热敏传感器、雷达传感器 |
| 按原理分    | 振动传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、气敏传感器、真空度传感器、生物传感器                            |
| 按输出信号分  | 模拟传感器、数字传感器、开关传感器                                               |
| 按材料分    | 导体传感器、绝缘体传感器、半导体磁性材料传感器                                         |
| 按制造工艺分  | 集成传感器、薄膜传感器、厚膜传感器、陶瓷传感器                                         |
| 按测量目的分  | 物理型传感器、化学型传感器、生物型传感器                                            |

3. 传感器的主要特性

传感器的特性很多，最主要的特性见表 7-11。

表 7-11 传感器的主要特性

| 序号 | 特 性  | 说 明                                                                                                                                                                                              |
|----|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 动态特性 | <p>是指传感器在输入变化时，它的输出特性。在实际工作中，传感器的动态特性常用它对某些标准输入信号的响应来表示。这是因为传感器对标准输入信号的响应容易用实验方法求得，并且它对标准输入信号的响应与它对任意输入信号的响应之间存在一定的关系，往往知道了前者就能推定后者。</p> <p>最常用的标准输入信号有阶跃信号和正弦信号两种，因此传感器的动态特性也常用阶跃响应和频率响应来表示</p> |
| 2  | 分辨率  | <p>是指传感器可感受到的被测量的最小变化的能力。也就是说，如果输入量从某一非零值缓慢地变化，当输入变化值未超过某一数值时，传感器的输出不会发生变化，即传感器对此输入量的变化是分辨不出来的。只有当输入量的变化超过分辨率时，其输出才会发生变化</p>                                                                     |
| 3  | 灵敏度  | <p>是指传感器在稳态工作情况下输出量变化<math>\Delta y</math>对输入量变化<math>\Delta x</math>的比值。它是输出-输入特性曲线的斜率。如果传感器的输出和输入之间呈线性关系，则灵敏度是一个常数。否则，它将随输入量的变化而变化。</p> <p>提高灵敏度，可得到较高的测量精度。但灵敏度越高，测量范围越窄，稳定性也往往越差</p>         |

4. 传感器的应用

在高档卫生间方便后洗手时，只要手伸到自动水龙头的出水口时，水就自动流出来，手离开水龙头的出水口后，水立即就停止流出。这是为什么？原来是“聪明”的传感器在发挥作用。在生活中，传感器的应用很多，例如，电冰箱的温度控制、空调器的温度控制、夜晚自动开关的路灯、电梯超员报警等都应用了传感器。在工业自动化控制设备中，也大量应用了传感器。

其实，传感器早已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、甚至文物保护等极其之泛的领域。可以毫不夸张地说，从茫茫的太空，到浩瀚的海洋，以至各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。例如，汽车上有温度（水温）传感器、油位传感器、转速传感器、胎压传感器等；商场有感烟传感器；手机有重力感应器；路灯有光敏传感器；工矿企业的供水（气）管道有压力、流量、温度传感器；进出的物料有称重、料位传感器。传感器的应用非常广泛。



## 7.5.2 常用传感器

### 1. 光电传感器

光电传感器一般由光源、光学通路和光电元件等三部分组成。

光电传感器采用光电元件作为检测元件，利用被检测量对光束的遮挡或者反射，首先把被测量的变化转变为信号的变化，然后借助光电元件进一步将光信号转换成电信号，从而检测检测量的有无。

光电检测方法具有精度高、反应快、非接触等优点，而且可测参数多，传感器的结构简单，形式灵活多样，体积小。

光电传感器可以分为反射式光电传感器、对射式光电传感器和光纤式光电传感器等三种，如图 7-30 所示。



### 2. 接近式传感器

接近式传感器是一种当被测物接近时可以产生开关量输出的器件。常用的接近式传感器有电感式和电容式两种。此外，超声波式和漫射式接近传感器的应用也比较广泛，常用接近式传感器如图 7-31 所示。



电感式接近传感器可以很容易并有效地检测出任何金属类型的物体，但相应的传感距离要近一些。

如果使用电容式接近传感器，那么被检测物体的体积不能太小，要满足传感器最小检测物体体积的要求。

超声波和漫射式接近传感器可以检测的材料范围也很广，而且检测距离比较长。但是，在检测表面不平整的物体时可能会出现问题。

### 3. 磁感应传感器

磁感应传感器是一种能将磁信号转换成电信号的器件或装置，它利用磁学量与其他物理量的关系，以磁场为媒介，可以将其他非电物理量转换为电信号。磁感应传感器的常见形式如图 7-32 所示。



图 7-32 磁感应传感器

磁感应传感器的主要构成材料是**干簧管**。干簧管是一种磁敏的特殊开关。通常由两个或三个既导磁又导电的材料做成簧片触点，封装在充有惰性气体（如氮气、氩气等）或真空的玻璃管里，玻璃管内平行封装的簧片端部重叠，并留有一定间隙或相互接触以构成开关的动断或动合接点。

磁感应传感器的种类很多，一般可分为**物性型**和**结构型**两种类型。物性型磁感应传感器，如霍尔器件、霍尔集成电路、磁敏二极管和晶体管、半导体磁敏电阻与传感器、强磁性金属磁敏器件与传感器等。结构型磁感应传感器，如电感式传感器、电容式传感器、磁电式传感器。

磁感应传感器可用于计数、限位等。

### 4. 温度传感器

温度传感器是工业中使用最广泛的传感器之一，常用于对液体、气体、固体或热辐射进行温度测量。

典型的温度传感器类型有热电阻、热电偶、半导体、双金属片、压力、玻璃液体（如体温计）、光学（红外）、辐射、比色温度计等。其中热电阻、热电偶、半导体、双金属片、压力、玻璃液体类型的温度传感器为接触式温度传感器；光学、辐射、比色类型的温度传感器为非接触式温度传感器。

**热电阻和热电偶温度传感器是工业上使用最多的温度传感器。**

温度传感器因使用场合不同而千差万别，测量室温和空气温度的传感器可能就是在 一个比导线还细的小金属珠（或小玻璃珠）上有两根引出线，而测量管道中的温度时，就必须要有防护外壳，以及便于拆卸维护的油杯等附件，所以有时很难根据外形来判断是否为温度传感器。

温度传感器能输出标准信号 0 ~ 10mA、4 ~ 20mA，0 ~ 5V、1 ~ 5V。

温度传感器的主要参数为测量范围、输出信号类型、信号精度、线性度、二线制还是四线制、防护方式及防爆与否等。

温度传感器如图 7-33 所示。

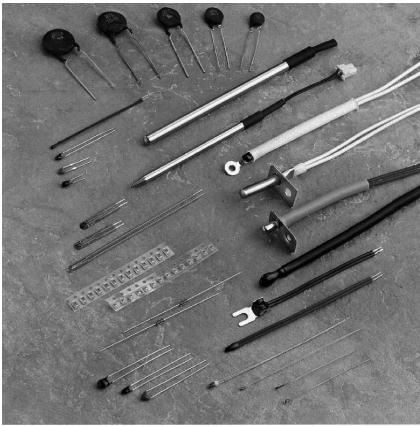


图 7-33 温度传感器

7.5.3 传感器的选用

选择传感器主要考虑灵敏度、稳定性、精度等几个方面的问题，见表 7-12。

表 7-12 传感器的选用

| 选 用 要 素 | 说 明                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 灵敏度     | <p>一般说来，传感器灵敏度越高越好。因为灵敏度越高，就意味着传感器所能感知的变化量小，即只要被测量有一微小变化，传感器就有较大的输出。</p> <p>传感器的灵敏度是有方向性的。当被测量是单向量，而且对其方向性要求较高，则应选择其他方向灵敏度小的传感器；如果被测量是多维向量，则要求传感器的交叉灵敏度越小越好</p>                                                                                                        |
| 稳定性     | <p>影响传感器长期稳定性的因素除传感器本身结构外，主要是传感器的使用环境。因此，要使传感器具有良好的稳定性，传感器必须要有较强的环境适应能力。</p> <p>在选择传感器之前，应对其使用环境进行调查，并根据具体的使用环境选择合适的传感器，或采取适当的措施，减小环境的影响。</p> <p>传感器的稳定性有定量指标，在超过使用期后，在使用前应重新进行标定，以确定传感器的性能是否发生变化。</p> <p>在某些要求传感器能长期使用而又不能轻易更换或标定的场合，所选用的传感器稳定性要求更严格，要能够经受住长时间的考验</p> |

(续)

| 选用要素 | 说 明                                                                                                                           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 精度   | 精度是传感器的一个重要的性能指标，它是关系到整个测量系统测量精度的一个重要环节。传感器的精度越高，其价格越昂贵，因此，传感器的精度只要满足整个测量系统的精度要求就可以，不必选得过高。这样就可以在满足同一测量目的的诸多传感器中选择比较便宜和简单的传感器 |

【重要提醒】

除了以上选用传感器时应充分考虑的一些因素外，还应尽可能兼顾结构简单、体积小、重量轻、价格便宜、易于维修、易于更换等条件。

7.6 晶振和光耦合器

7.6.1 晶振

1. 晶振的作用

晶振的全称是晶体振荡器，是石英晶体谐振器和石英晶体振荡器的统称，是指从一块石英晶体上按一定方位角切下的薄片（简称为晶片），其产品一般用金属外壳封装，也有用玻璃壳、陶瓷或塑料封装的，如图 7-34 所示。

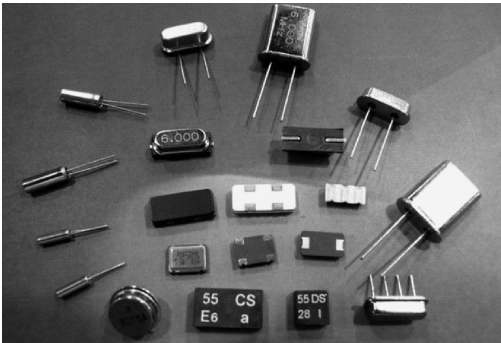


图 7-34 晶振

每个单片机系统里都有晶振，晶振的作用是为系统提供基本的时钟信号。通常一个系统共用一个晶振，便于各部分保持同步。有些通信系统的基频和射频使用不同的晶振，而通过电子调整频率的方法保持同步。

晶振用一种能把电能和机械能相互转化的晶体在共振的状态下工作，以提供稳定、精确的单频振荡。在通常工作条件下，普通的晶振频率绝对精度可达  $50 \times 10^{-6}$ ，高级的精度更高。有些晶振还可以由外加电压在一定范围内调整频率，称为压控振荡器（VCO）。

## 2. 晶振的类型

- 1) 按封装材质不同，可分为金属封装晶振、陶瓷封装晶振和塑料封装晶振。
- 2) 按贴装方式不同，可分为直插封装、贴片封装。
- 3) 按产品功能不同，可分为无源晶振、有源晶振、压控晶振和温度补偿晶振等。

## 3. 晶振的标称频率

晶体元件规范（或合同）指定的频率有 Hz、kHz、MHz 三种。

## 4. 晶振的原理

石英晶体振荡器是利用石英晶体（二氧化硅的结晶体）的压电效应制成的一种谐振器件，它的基本结构大致是从一块石英晶体上按一定方位角切下薄片（简称为晶片，它可以是正方形、矩形或圆形等），在它的两个对应面上涂敷银层作为电极，在每个电极上各焊一根引线接到引脚上，再加上封装外壳就构成了晶振。

若在石英晶体的两个电极上加一电场，晶片就会产生机械变形。反之，若在晶片的两侧施加机械压力，则在晶片相应的方向上将产生电场，**这种物理现象称为压电效应**。注意，这种效应是可逆的。

**石英晶体振荡器是利用石英晶体的压电效应来起振，而石英晶体谐振器是利用石英晶体和内置集成电路共同作用来工作的。**振荡器直接应用于电路中，谐振器工作时一般需要提供 3.3V 电压来维持工作。

## 【重要提醒】

一般的晶振电路都是在一个反相放大器（注意是放大器不是反相器）的两端接入晶振，再将两个电容器分别接到晶振的两端，每个电容器的另一端再接到地，这两个电容器串联的容量值就应该等于负载电容。请注意，一般集成电路的引脚都有等效输入电容，这个不能忽略。

## 5. 晶振的检测

用万用表测量晶振是否工作的方法：测量两个引脚电压是否是芯片工作电压的一半。比如工作电压是 +5V，则是否是 2.5V 左右，如图 7-35 所示。另外，如果用镊子碰晶振另外一个引脚，这个电压有明显变化，证明是起振了的。

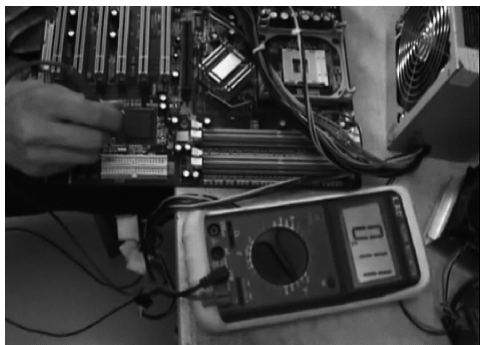


图 7-35 测量晶振的电压

用数字电容表（或数字万用表的电容档）测量其电容，一般损坏的晶振容量明显减小（不同的晶振其正常容量具有不同的范围，一般在几十皮法到几百皮法）。

7.6.2 光耦合器

1. 光耦合器的作用

光耦合器又称为光电隔离器，简称光耦，是一种以光为媒介传输电信号的电-光-电转换器件。

光耦合器的输入输出端都是电信号，只是两端之间有光电转换，并以此实现输入和输出没有电的直接联系，可以提高安全性和降低输入输出端的电气耦合干扰。

2. 光耦合器的种类

由于光耦合器的品种和类型非常多，其型号超过上千种，通常的几种方法见表 7-13。

表 7-13 光耦合器的种类

| 序号 | 分类方法   | 种类及简要说明                             |                                     |
|----|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1  | 按光路径分  | 外光路光耦合器                             | 又称光电断续检测器，可分为透过型和反射型光耦合器            |
|    |        | 内光路光耦合器                             |                                     |
| 2  | 按输出形式分 | 光敏器件输出型                             | 包括光敏二极管输出型、光敏晶体管输出型、光电池输出型、光晶闸管输出型等 |
|    |        | NPN 型晶体管输出型                         | 包括交流输入型、直流输入型、互补输出型等                |
|    |        | 达林顿晶体管输出型                           | 包括交流输入型、直流输入型                       |
|    |        | 逻辑门电路输出型                            | 包括门电路输出型、施密特触发输出型、三态门电路输出型等         |
|    |        | 低导通输出型                              | 输出低电平（毫伏级）                          |
|    |        | 光开关输出型                              | 导通电阻小于 10Ω                          |
|    |        | 功率输出型                               | IGBT/MOSFET 等输出                     |
| 3  | 按封装形式分 | 同轴型、双列直插型、TO 封装型、扁平封装型、贴片封装型、光纤传输型等 |                                     |
| 4  | 按传输信号分 | 数字型光耦合器                             | OC 门输出型、图腾柱输出型及三态门电路输出型等            |
|    |        | 线性光耦合器                              | 低漂移型、高线性型、宽带型、单电源型、双电源型等            |
| 5  | 按速度分   | 低速光耦合器                              | 光敏晶体管、光电池等输出型                       |
|    |        | 高速光耦合器                              | 光敏二极管带信号处理电路或者光敏集成电路输出型             |
| 6  | 按通道分   | 单通道、双通道和多通道光耦合器                     |                                     |
| 7  | 按隔离特性分 | 普通隔离光耦合器                            | 一般光学胶灌封低于 5000V，空封低于 2000V          |
|    |        | 高压隔离光耦合器                            | 可分为 10kV、20kV、30kV 等                |
| 8  | 按工作电压分 | 低电源电压型光耦合器                          | 工作电压一般为 5 ~ 15V                     |
|    |        | 高电源电压型光耦合器                          | 工作电压一般大于 30V                        |

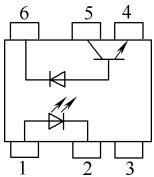
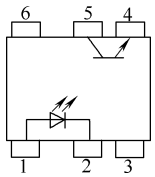
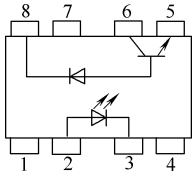
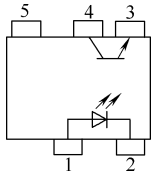
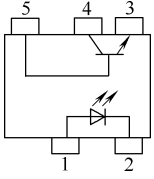
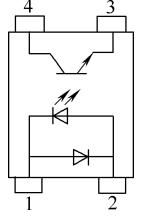
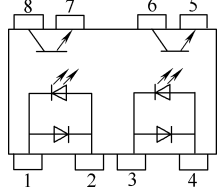
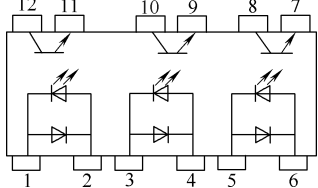
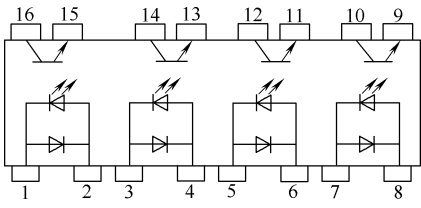
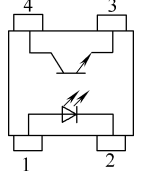
3. 光耦合器的结构及原理

光耦合器由发光源和受光器两部分组成，把发光源和受光器组装在同一密闭的壳体

内，彼此间用透明绝缘体隔离。发光源的引脚为输入端，受光器的引脚为输出端。

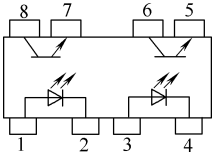
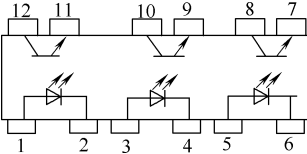
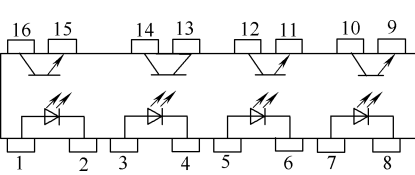
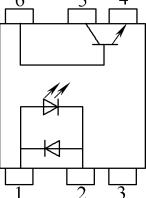
常用光耦合电路的内部结构见表 7-14。常见的发光源为发光二极管，受光器为光敏二极管、光敏晶体管等。

表 7-14 常用光耦合电路的内部结构

| 型号           | 内部电路                                                                                | 同类品          | 型号           | 内部电路                                                                                 | 同类品                                                                                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TLP512       |    |              | TLP532       |    | TLP332<br>TLP632<br>TLP634<br>TLP732<br>CNX82A<br>FXD012CE                                                                |
| TLP550       |    | TLP650       | TLP580       |    |                                                                                                                           |
| TLP581       |   |              | TLP620       |   | TLP120<br>TLP126<br>TLP626                                                                                                |
| TLP620<br>-2 |  | TLP626<br>-2 | TLP620<br>-3 |  | TLP626<br>-3                                                                                                              |
| TLP620<br>-4 |  | TLP626<br>-4 | TLP621       |  | TLP121<br>TLP124<br>TLP321<br>TLP521<br>TLP621<br>LTV817<br>PC111<br>PC510<br>PC617<br>PC713<br>PC817<br>ON3111<br>ON3131 |



(续)

| 型号           | 内部电路                                                                              | 同类品                                          | 型号           | 内部电路                                                                               | 同类品                                 |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| TLP621<br>-2 |  | TLP321<br>-2<br>TLP521<br>-2<br>TLP624<br>-2 | TLP621<br>-3 |  | TLP321 -3<br>TLP521 -3<br>TLP624 -3 |
| TLP621<br>-4 |  | TLP321<br>-4<br>TLP521<br>-4<br>TLP624<br>-4 | TLP630       |  | TLP130<br>TLP330                    |

光耦合器分为很多种类，图 7-36 所示为常用的晶体管型光耦合器原理图。

当电信号送入光耦合器的输入端时，发光二极管通过电流而发光，光敏元件受到光照后产生电流，光耦合器导通；当输入端无信号，发光二极管不亮，光敏晶体管截止，光耦合器不通。对于数位量，当输入为低电平“0”时，光敏晶体管截止，输出为高电平“1”；当输入为高电平“1”时，光敏晶体管饱和导通，输出为低电平“0”。

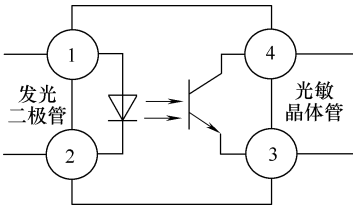


图 7-36 光耦合器原理图

【重要提醒】

若基极有引出线，则可满足温度补偿、检测调制要求。这种光耦合器性能较好，价格便宜，因而应用广泛。

4. 光耦合器的应用场合

由于光耦合器种类繁多，结构独特，优点突出，因而其应用十分广泛。光耦合器的应用主要体现在电信号的隔离或传输上，其中隔离应用非常多。其主要应用场合见表 7-15。

表 7-15 光耦合器的主要应用场合

| 序号 | 应用领域      | 说 明                                                         |
|----|-----------|-------------------------------------------------------------|
| 1  | 在逻辑电路上的应用 | 光耦合器可以构成各种逻辑电路。由于光耦合器的抗干扰性能和隔离性能比晶体管好，因此，由它构成的逻辑电路更可靠       |
| 2  | 作为固体开关应用  | 在开关电路中，往往要求控制电路和开关之间要有很好的电隔离，对于一般的电子开关来说是很难做到的，但用光耦合器却很容易实现 |
| 3  | 在触发电路上的应用 | 将光耦合器用于双稳态输出电路，由于可以把发光二极管分别串入两管发射极回路，可有效地解决输出与负载隔离的问题       |

(续)

| 序号 | 应 用 领 域     | 说 明                                         |
|----|-------------|---------------------------------------------|
| 4  | 在脉冲放大电路中的应用 | 光耦合器应用于数字电路，可以将脉冲信号进行放大                     |
| 5  | 在线性电路上的应用   | 线性光耦合器应用于线性电路中，具有较高的线性度以及优良的电隔离性能           |
| 6  | 特殊场合的应用     | 光耦合器还可应用于高压控制，取代变压器，代替触点继电器以及用于 A-D 电路等多种场合 |

5. 光耦合器的检测

由于光耦合器的内部结构不尽相同，所以在检测时应针对不同的结构特点，采取不同的检测方法。例如，在检测普通光耦合器的输入端时，一般均参照红外发光二极管的检测方法进行。对于光敏晶体管输出型的光耦合器，检测输出端时应参照光敏晶体管的检测方法进行。

检测判断光耦合器的好坏，可在路测量其内部二极管和晶体管的正、反向电阻来确定。更可靠的检测方法是以下三种。

(1) 比较法

对于在路的光耦合器，最好的检测方法是比较法，即拆下怀疑有问题的光耦合器，用万用表测量其内部二极管、晶体管的正、反向电阻值，并与好的同型号光耦合器对应引脚的测量值进行比较，若阻值相差较大，则说明被测光耦合器已损坏。

(2) 万用表检测法

这里以 MF50 型指针式万用表测量 PC817 型光耦合器为例，说明具体检测方法。

1) 按照图 7-37a 所示，将指针式万用表置于“ $R \times 100$ ”（或“ $R \times 1k$ ”）档，红、黑表笔分别接光耦合器输入端发光二极管的两个引脚。如果有一次指针指数为无穷大，但红、黑表笔互换后有几千至十几千欧的电阻值，则此时黑表笔所接的引脚即为发光二极管的正极，红表笔所接的引脚为发光二极管的负极。

2) 按照图 7-37b 所示，在光耦合器输入端接入正向电压，将指针式万用表仍然置于“ $R \times 100$ ”档，红、黑表笔分别接光耦合器输出端的两个引脚。如果有一次指针指数为无穷大（或电阻值较大），但红、黑表笔互换后却有很小的电阻值（ $< 100\Omega$ ），则此时黑表笔所接的引脚即为内部 NPN 型光敏晶体管的集电极 C、红表笔所接的引脚为发射极 E。当切断输入端正向电压时，光敏晶体管应截止，万用表指数应为无穷大。

这样，不仅确定了四脚光耦合器 PC817 的引脚排列，而且还检测出它的光传输特性正常。如果检测时万用表指针始终不摆动，则说明光耦合器已损坏。

【重要提醒】

对于多通道光耦合器的检测，应首先将所有发光二极管的引脚判别出来，然后再确定对应的光敏晶体管的引脚，最后参照上述方法进行检测。

(3) 鉴别器检测法

鉴别器电路如图 7-38 所示，当将光耦合器的输入、输出引脚分清极性后正确插入鉴

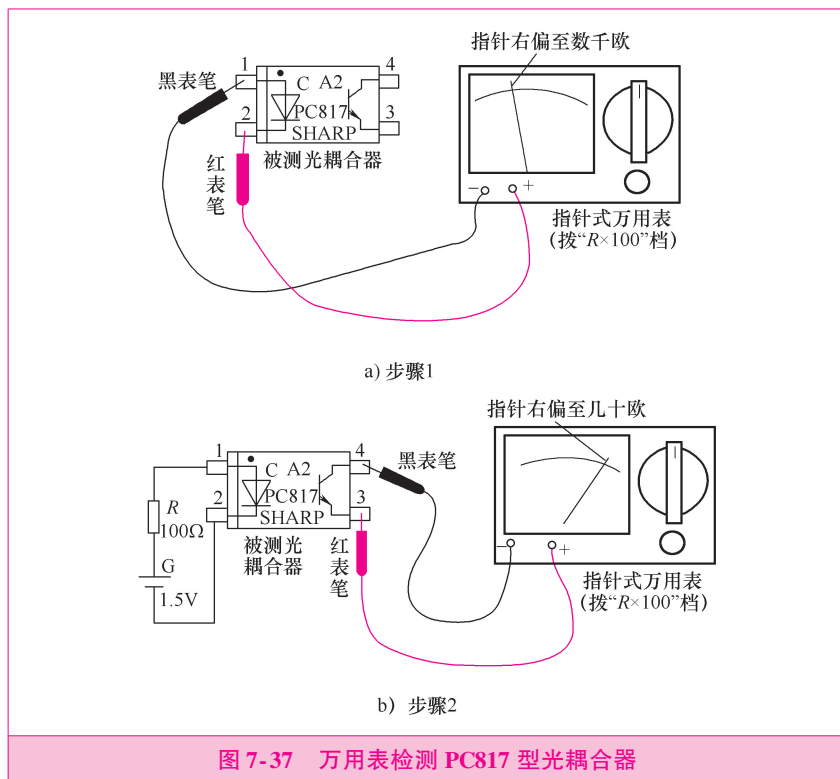


图 7-37 万用表检测 PC817 型光耦合器

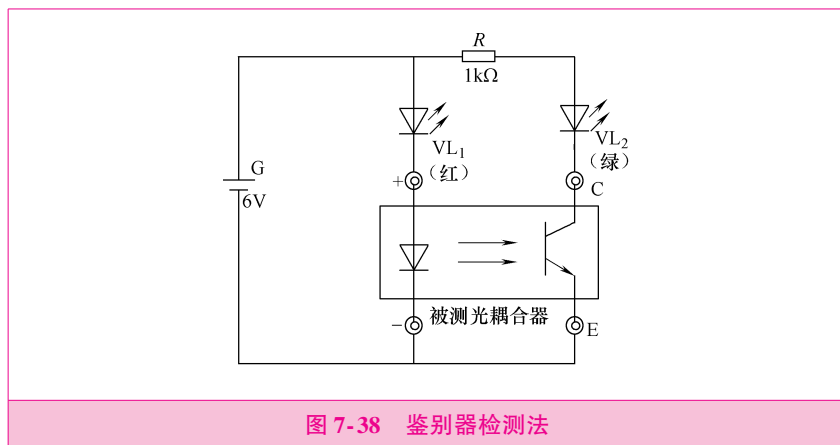


图 7-38 鉴别器检测法

别器的四个相应插孔内时，如果发光二极管 VL<sub>1</sub>、VL<sub>2</sub> 同步闪烁发光，则证明光耦合器完好。如果 VL<sub>1</sub> 不闪烁发光，则说明光耦合器内部发光二极管已开路；如果 VL<sub>1</sub> 闪烁发光，但 VL<sub>2</sub> 不亮或恒定发光，说明光耦合器内部不是发光二极管失效就是光敏晶体管已开路或击穿损坏。

## 参 考 文 献

- [1] 杨清德, 胡大华. 电子元器件家族那些事儿 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [2] 杨清德. 电工必识元器件直通车 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [3] 张军. 电子元器件检测与维修完全学习手册 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.





地址：北京市百万庄大街22号  
 邮政编码：100037

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版



机械工业出版社微信公众号

ISBN 978-7-111-50703-1

策划编辑◎付承桂

ISBN 978-7-111-50703-1



9 787111 507031 >

定价：39.90元